

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2010

MICHALA MORAVCOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: 3106T013 Management jakosti

**ODBARVOVÁNÍ TEXTILIÍ PŮSOBENÍM
LASEROVÉHO ZÁŘENÍ**

**THE LASER REMOVAL OF THE DYE
FROM THE FABRIC SURFACE**

Michala Moravcová

KHT - 034

LIBEREC 2010

MICHALA MORAVCOVÁ

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jaroslavu Odvárkovi, DrSc. za spolupráci jak při teoretické části tak za cenné rady a pomoc při praktické části. Také bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D. za konzultace a bez něhož by tato práce nevznikla. Mé obrovské díky patří zejména Ing. Marii Štěpánkové za její ochotu a pomoc při realizaci, tak i za korektury a pomoc s teoretickou částí a za její čas, který mi věnovala, a který byl nemalý. A také Ing. Martině Víkové a panu doc. Ing. Michalu Víkovi, Ph.D. za pomoc při měření barevnosti, za cenné rady ohledně kalibrace a za zapůjčení programu NIS-Elements AR.

Nemohu opomenout ani rodinu a nejbližší přátele, kterým patří mé obrovské díky za podporu a trpělivost při řešení některých problémů.

Anotace

Cílem této práce je dosáhnout požadovaného („prstencového“) obarvení celulózového materiálu indigem, abychom mohli textilií vystavit IR laserovému záření a prozkoumat, jak se mění barevnost textilie, jaké změny nastávají v textilií. Cílem studie je stanovení vlivu laserového záření na obarvenou denimovou tkaninu. Pro tuto studii byla použita 100% bavlněná tkanina v keprové vazbě. Pro obarvení bavlněného kepru bylo použito syntetické indigo. Odlišného barevného odstínu textilie bylo dosaženo různým pH lázně. Po té následovala řada řezů přízí, abychom mohli vyhodnotit, jakého probarvení jsme docílili. Obarvené bavlněné vzorky tkaniny se ozařovaly na laserovém stroji Marcatex 150 Flexi. Textilie byla vystavena IR laserovému záření v různých intenzitách. Na přístroji Datacolor SF 600 se měřila barevnost obarvených a ozářených vzorků tkaniny. A pomocí rastrovací elektronové mikroskopie (SEM) jsme se podívali na povrch tkaniny po ozáření.

Klíčová slova: indigo, prstencové vybarvení, laser, Marcatex 150 Flexi, NIS-Elements AR 2,30

Annotation

The goal of this project is to achieve the requested ("ring") indigo coloring on a cellulosic material in order to expose this fabric to IR laser radiation and then to examine how fabrics color changes, and also which changes occur in the fabric. The objective of this study is to investigate and determine the effect of laser irradiation on colored denim fabric. The 100% cotton fabric in twill weave was used for this study. For the coloring of cotton twill we used synthetic indigo. A different shade of the fabric was achieved with different pH bath. After that a number of yarn cuts followed in order to measure our achieved dyeing intake. Dyed cotton fabric samples were irradiated by the laser machine Marcatex 150 Flexi. Fabrics were exposed to IR laser radiation at different intensities. With the Datacolor SF 600 a variety of color of dyed and irradiated fabric samples was measured. And by using scanning electron microscopy (SEM), we looked at the fabric surface after irradiation.

Keywords: indigo, ring coloring, laser, Marcatex 150 Flexi, NIS-Elements AR 2,30

OBSAH

ÚVOD.....	8
TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HISTORIE INDIGA.....	10
1.1 Z čeho se získávalo indigo.....	10
1.1.1 Indigofera tinctoria.....	12
1.1.2 Isatis tinctoria (Woad – boryt barvířský)	12
1.1.3 Polygonum tinctoria	13
1.2 Jak se získávalo indigo	14
1.3 Přírodní indigo	14
1.4 Syntetické indigo	15
2 BARVENÍ INDIGEM	16
2.1 Kypování.....	16
2.1.1 Kypování v matečné kypě s maximální koncentrací.....	17
2.1.2 Kypování v matečné kypě se střední koncentrací	17
2.1.3 Kypování přímo v barvicí lázni.....	17
2.2 Natažení barviva na vlákno - barvení	18
2.3 Oxidace	18
2.4 Závěrečné zpracování – praní	18
3 METODY BARVENÍ INDIGEM	19
3.1 Močovinová lázeň.....	19
3.2 Lázeň se zelenou skalicí	19
3.3 Zinková barvicí lázeň.....	20
3.4 Hydrosulfitová barvicí lázeň.....	23
3.5 Přírodní (bio) lázeň	24
3.6 Receptura podle Šmeleva.....	25
3.7 Receptura podle Fa. I. G. Farbenindustrie	25
3.8 Receptura podle Klaudy.....	26
4 LASEROVÁ TECHNOLOGIE	28
4.1 Všeobecná charakteristika laseru.....	28
4.2 Typy laserů	29
4.2.1 Pevnolátkové lasery	29
4.2.2 Kapalinové (barvivové) lasery	30
Odbarvování textilií působením laserového záření	6

4.2.3	Plynové lasery	30
4.2.4	Polovodičové lasery	31
4.3	Laserová technologie v textilním průmyslu.....	32
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....		34
5 DEFINICE SUBSTRÁTU.....		34
6 BARVENÍ.....		35
6.1	Barvení podle Šmeleva	35
6.2	Barvení podle Klaudy	36
6.3	Barvení v matečné kypě úpravou pH.....	38
6.4	Zhodnocení výsledků.....	39
7 MĚŘENÍ BAREVNOSTI.....		41
8 ANALÝZA PROBARVENÍ		42
8.1	Příčné řezy	42
8.2	Obrazová analýza.....	42
8.2.1	Postup analýzy obrazu v programu NIS-Elements AR 2,30.....	43
8.3	Vyhodnocení výsledků	46
8.3.1	Statistické vyhodnocení	46
8.3.2	Vyhodnocení probarvení.....	49
8.3.3	Vyhodnocení probarvení osnovy	49
8.3.4	Vyhodnocení probarvení útku.....	52
9 OZAŘOVÁNÍ VZORKŮ LASEREM		55
9.1	Definice použitého zařízení	55
9.2	Parametry zařízení Marcatex 150 Flexi	56
9.2.1	Technické parametry	56
9.2.2	Parametry počítače	57
9.2.3	Software programu.....	57
9.3	Výkonné parametry pro značení	57
9.4	Ozařování obarvených vzorků	59
10 MĚŘENÍ BAREVNOSTI OZÁŘENÝCH VZORKŮ		62
11 OBRAZOVÁ ANALÝZA		64
ZÁVĚR		68
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		70
PŘÍLOHY		72

ÚVOD

Barvení indigem patřilo mezi jedny z prvních speciálních profesí. Přírodní indigo se zřejmě řadí k nejstarším známým modrým barvivům. Nejstarší fragmenty tkanin jsou barveny s ním. Prastaré kultury světa znaly a ovládaly toto „alchymistické“ umění barvení látek. Obrovský zájem o barvení indigem vzrostl v období denimu, který se barví převážně modrou barvou – dnes již syntetickým indigem.

V dnešní době se indigo používá v textilním průmyslu hlavně pro barvení džín (denim – Jean = materiál špičkových návrhářů). Ale v České republice již není možné sehnat džínovinu, denim se u nás již nevyrábí. Ojedinělou barvicí linku pro barvení indigem na výrobu džínů v České republice po mnoho let vlastnila firma Jitka v Jindřichově Hradci. Avšak současní vlastníci barvicí linku prodali do zahraničí a firma Jitka je nyní uzavřena. „Modrý denim“ je všude kolem nás, je součástí našeho každodenního života. Vždyť denimové oblečení je na trhu již stovky let a stále se těší obrovské oblibě zákazníků. Ba jeho popularita stále stoupá. Módní ikonou v dnešní době nejsou již nové modré džíny, ale džíny vybledlého, sepraného a ošoupaného vzhledu. Se vzrůstající poptávkou po obnošených, potřhaných a vyblednutých džínách se výrobci zaměřili právě na tuto výrobu, začali používat ztrátu barvy – blednutí, vyblednutí určitých partií oblečení prostřednictvím pracího výrobního procesu s použitím kamenů a kyseliny. Zastaralé metody jako broušení, pískování aj. mají vliv na mechanické vlastnosti, opotřebovávají, ničí textilii a tudíž určují i její životnost. Trh reaguje na vzrůstající se poptávku a snaží se docílit podobného vzhledu textilie za účelem lepší kvality a příznivějších výrobních podmínek. Nová technologie, kterou lze dosáhnout stejných, ba dokonce lepších požadovaných výsledků je použití laserového zařízení - laserového záření. Je to jedna z konečných designérských metod, kterou lze aplikovat na již konečný hotový výrobek a pomocí které můžeme docílit požadovaného konečného upravení povrchu textilie. Proto je velmi důležité znát dopad na textilii s cílem zachovat kvalitu textilie. Laserový paprsek je zdroj energie, který je pomocí PC snadněji kontrolovatelný, jeho intenzita a síla může být jednoduše měněna s ohledem na druh materiálu. Nicméně vliv laserového záření na denim nebyl hodnocen. Myšlenkou tedy je pomocí laserového paprsku změnit barvicí molekuly v textilii, vytvořit změny v barevné hodnotě při redukované intenzitě bez poškození struktury textilie.

Nejprve se zaměřím trochu na historickou – velmi zajímavou část barvení indigem. Je málo podkladů o barvení indigem, dovolila bych si i říci, že zkušenosti v rámci České republiky jsou pramalé, založené na teorii a neodzkoušené. Od počátku barvení indigem již vykrystalizovalo spousta různých se metod a způsobů barvení, já se pokusím nastínit alespoň trochu popsat a rozdělit druhy lázní, které se používali a používají do dnes, byť ale není účelem této práce všechny metody odzkoušet. Cílem práce je dosáhnout požadovaného probarvení pro další účely. Kromě toho jsem se také zaměřila na laserovou technologii, nejprve stručnou charakteristiku laserového záření, rozdělení laserů, které lasery se v dnešní době nejvíce používají a využití laseru v textilním průmyslu.

Pro tento experiment byla použita keprová bavlněná tkanina, kterou jsme nejprve obarvili syntetickým indigem, různého odstínu probarvení jsme dosáhli změnou pH lázně. V další části se zabývám vyhodnocením hloubky probarvení a barevného odstínu. Dosažené barevné nuance byly měřeny na Datacoloru SF600 a stanoveny podle Kubelka - Munkovy rovnice z koeficientu odrazu z 650 nm (max.) a vyjádřeny jako hodnoty K/S. Hloubka probarvení se analyzovala pomocí programu NIS Elements AR 2,30. Stěžejní částí je ozařování bavlněné tkaniny různou intenzitou IR (infračerveného záření) laserového záření a následné prozkoumání a vyhodnocení, co se po ozáření s obarvenou tkaninou stalo. Výsledné barevné odstíny po ozařování byly opět vyhodnoceny pomocí Datacoloru SF600. Pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu jsme se ještě podívali na tkaninu jak neobarvenou, obarvenou tak ozářenou různými intenzitami laserového záření.

TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE INDIGA

Indigo bylo používáno mnoho století před Kristem na dálném východě. Marco Polo viděl přípravu indiga v Číně ve 13. století, ve stejnou dobu evropští barvíři získávali modré barvivo z Woad (*Isatis tinctoria*). Tradiční metody barvení indigem dnes můžeme pozorovat v Africe, Mexiku, Indii a Japonsku, barvicí kádě s indigem mohou být nalezeny skoro v každé rozvojové zemi, kde barvíři přizpůsobili své starodávne techniky podle jejich místní situace. [5]

Umění barvení indigem se datuje tisíce let zpět. Příklady obarvených fragmentů tkanin indigem byly nalezeny ve Starověkém Egyptě, v hrobkách Egyptanů. Dokonce v Bibli jsou zmínky o používání indiga. Ve Starém zákonu jsou zmínky o obchodování s modrým oblečením (obchodníci ze Sheba nyní Jemen). Ve starověkém Izraeli a Palestině se indigo kombinovalo se zeleným a černým barvivem. Nádherná tkanina se dochovala z egyptské hrobky, datovaná 2 400 let před našim letopočtem, jednalo se o lněnou látku. V suchém klimatu – v poušti Atacama v severním Chile a Peru se dochovaly technicky vyspělé tkaniny a indigem barvené oblečení bylo nalezeno v hrobech v poušti, nyní jsou ve sbírce musea: „Museum of Pre - Colombian art in Santiago“ a ve sbírce univerzity Antofagasta v Chile. Ve Victoria a Albert museum in London mají vynikající sbírku látek – fragmentů, které jsou datované do dynastie Han to Tang, což je asi 618 - 906 let před našim letopočtem v Číně. Vlněné a bavlněné tkaniny barvené indigem byly nalezeny v zasypaných jeskyních v Mali v západní Africe, datované kolem 11. - 16. století. Jsou velmi podobné dnešním tkaninám barveným indigem lidmi z kmene Yoruba. [5] Roku 1856 Villiam Perkins náhodně objevil indigo při hledání léčby malárie.

1.1 Z čeho se získávalo indigo

Významným a nejvíce používaným organickým barvivem v historii bylo indigo, které se získávalo z rostlin rodu *Indigofera* a *Isatis* (Indie, Čína, Afrika, Brazílie, Itálie, Filipíny). V listech rostlin druhu *Indigofera*, *Polygonum*, *Lonchocarpus* a *Isatis* jsou obsaženy chemické sloučeniny, proto byly pěstovány po tisíce let. Většina rostlin byla

pěstována v tropických klimatech až na Woad (*Isatis tinctoria* = Boryt barvířský), který byl komerčně pěstován v Evropě od středověku do začátku 20. století.

Ve Středověku barvíři a tkalci v Evropě používali boryt barvířský (*Isatis tinctoria*), tato rostlinka se pěstovala lokálně ve velkém množství pro podporu vzkvétajícího tkalcovského průmyslu. Jako doklad úspěšného obchodu ve Francii se dodnes dochovaly rozlehlé, nádherně vyřezávané domy vlastněné „Woad obchodníky“ v Toulouse, který byl hlavním zdrojem modrého barviva. Boryt barvířský byl hlavním zdrojem modrého barviva v Evropě do roku 1498, kdy Vasco de Gama objel Mys Dobré Naděje a vytyčil začátek světového obchodu. Se vzrůstajícím obchodem s Indií, Asií a jižní Amerikou začal pomalý úpadek této průmyslově pěstované plodiny. Zánik pěstování borytu barvířského byl nezastavitelný, poslední komerčně pěstovaná plodina v Evropě byla sklizena roku 1887. [5]

V Anglii byl pěstován boryt barvířský komerčně do konce 16. století, měl redukovat import z Itálie, Francie a Německa. V polovině 18. století vymizel jako hlavní plodina kvůli vzrůstajícímu dovozu hlavně z Indie. Barvivo z borytu barvířského bylo míseno s dováženým indigem za účelem zlepšit, zdokonalit fermentační proces. V malém množství se pěstovalo jako speciální rostlina Lincolnshire do 2. světové války, kdy se barvivo používalo k barvení uniforem pro královské námořnictvo, královské letectvo a policii. Zároveň se 2. světovou válkou úpadek textilního průmyslu na západě způsobil zánik borytu barvířského jako komerční rostliny. [6]

V 17. a 18. století v Evropě začal být ve vědě a výzkumu veliký zájem o indigo. Kolem roku 1880 německý chemik Johann Friedrich Adolf von Baeyer uspěl v syntéze indiga. Podařilo se mu mnohastupňovou syntézou z kyseliny monochloroctové a anilinu vyrobit syntetické indigo. Což způsobilo, že od počátku 20. století bylo přírodní indigo v Evropě zcela vytlačeno a nahrazeno syntetickým indigem.

Dnes se vzrůstajícím povědomím potřeby po přírodní rozmanitosti a ekologii vyústilo pěstování a extrahování indiga z borytu barvířského v pětileté studium. Pěstitelské pokusy pokračují ve Velké Británii, Německu, Itálii, Španělsku a Finsku. Budoucnost může být jasnější pro přírodní indigo.

1.1.1 Indigofera tinctoria

Byla pojmenována Linnaeusem v jeho herbáři roku 1753. Patří do rodu Leguminosae, je to skupina rostlin stále zelených. Jsou to jednoleté nebo víceleté rostliny, silně rozšířené v tropických a subtropických regionech světa. Tento keřík dorůstá výšky mezi 4 až 5 stopami, jehož květy mohou být nažloutlé, bílé a růžové. Je to původní rostlina, která roste a pěstuje se v Indii, Číně, Indonésii a severních oblastech jižní Ameriky. [5]

Do rostlinky Indigofera tinctoria bychom díky jejímu ladnému zjevu se světle zelenými listy a lusky jako hrášek neřekli, že nám může dát nádherně modré barvivo, které může být získáno, když se listy ponoří do kádě s vodou a nechají se zkvasit. Tento proces uvolní indigo z hlavního stavu „indican“, výsledná pasta je vysušena a formována do bloků, kuliček nebo slabých listů nebo namletá na prášek, který je ale nerozpustný, dokud není aktivován v lázni.



Obr. č. 1: *Indigofera tinctoria*.

1.1.2 Isatis tinctoria (Woad – boryt barvířský)

Tato rostlinka je velmi lehce vypěstovatelná ze semínka a docela lehce se z ní extrahuje barvivo. Je to jednoletá rostlina. K získání barviva se používají její listy, pokud se ale usuší nebo zmrazí, tak již nejsou vhodné pro barvení. [5]



Obr. č. 2: *Isatis tinctoria*.

1.1.3 *Polygonum tinctoria*

Také známá jako japonské, čínské indigo. Tato rostlina je často pěstována společně s *Indigofera tinctoria* v Číně a Japonsku. V Japonsku je velmi široce kultivována. Extrační proces je stejný jako pro boryt barvířský. Je to jednoletá rostlina, má ráda svěží podnebí, vlhké klima a úrodnou půdu. Když dosáhne výšky 30 – 60 cm a listy získají námořnickou modř, tak je čas na sklizení. [5]



Obr. č. 3: *Polygonum tinctoria*.

1.2 Jak se získávalo indigo

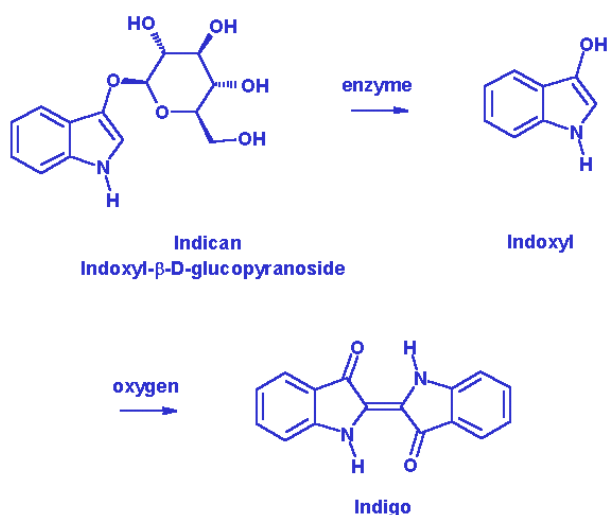
Indigo bylo získáváno z rostlin, které obsahují indican molekulu. Ta se nachází v různých rostlinných rodinách, mezi nejrozšířenější patří rostliny rodu *Indigofera* a *Isatis*, jak již bylo popsáno výše.

Postup, kterým se modré barvivo z listů získávalo, nebyl zvlášť jednoduchý. Listy indigovníku se nechávaly ve vodních jámách fermentovat. V listech těchto rostlin je obsažen indikan, glukosid prekursoru indiga, jež se hydrolyticky štěpí při kvašení. Vytváří se glukosa a bezbarvý prekursor indiga – indoxil. Po několika denní fermentaci se tato lázeň vypouštěla do jímek, které byly umístěny níže a ve kterých se voda čerila holemi, a tím docházelo k okysličování. Oxidací se indoxil změnil na modré ve vodě nerozpustné indigo, jež se sráželo do vloček, které klesaly ke dnu jímky. Po té se usazenina sbírala, byla čištěna a lisována do hrudek, které se dopravovaly po Indii nebo byly vyváženy.

V Evropě se získávalo modré barvivo z listů *Isatis tinctoria* – borytu barvířského. Technologie získávání barviva se moc neliší od postupu barvířů v Indii, ale byla trochu zdlouhavější. Evropští barvíři ponechali slisované koule listů borytu barvířského fermentovat dva roky a po tu dobu se skrápěli močí a roztokem potaše. Potom se zkvašený boryt po dobu tří dnů zahříval společně s potaší a močí a v této lázni se pak látky barvily.

1.3 Přírodní indigo

Indigo – nejstarší známé rostlinné barvivo, tmavomodrý prášek získávaný z rostlin rodu *Indigofera* a *Isatis*, jak bylo popsáno výše. Základem získávání indiga z rostlin je reakce, při které se hydrolyzuje glukosid indikan na žlutý indoxyl. Působením β -glukosidázy emulzinu dochází k hydrolytickému štěpení indikanu na glukózu a indoxyl. Až teprve vzdušnou oxidací indoxylu, při níž se spojí dvě molekuly indikanu, se získá indigo modré. [2]

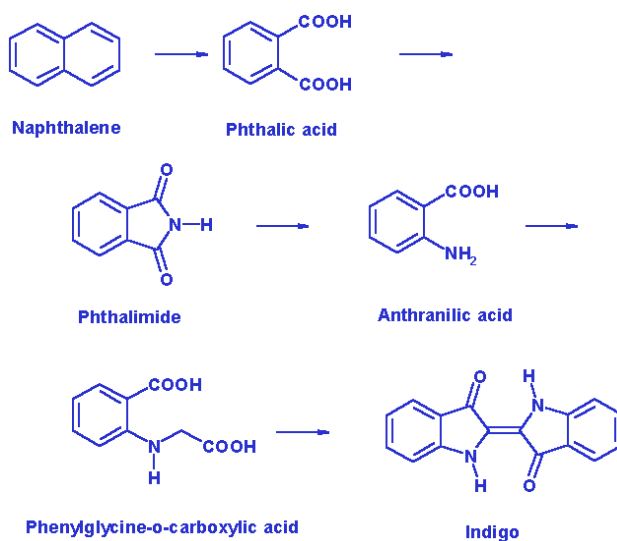


Obr. č. 4: Získání přírodního indiga [22].

1.4 Syntetické indigo

Syntetické indigo připravované v laboratoři obsahuje identicky stejnou molekulární strukturu jako přírodní indigo. Ale syntetické indigo má mnohem vyšší procento indiga vzhledem k váze než přírodní forma barviva.

V dnešní době trh ovládá převážně syntetické indigo, které se vyrábí z uhelného dehtu nebo ropy. Současná světová produkce indiga činí 17 000 tun/rok, většinou (40 %) produkovaná organizací BASF v Ludwigshafenu. [22]



Obr. č. 5: Výroba syntetického indiga [22].

2 BARVENÍ INDIGEM

Indigo patří do skupiny kypových barviv, která jsou ve vodě nerozpustná. Je to tmavě modrý prášek, který je ve vodě, etheru, benzenu a alkoholu v podstatě nerozpustitelný. Abychom s ním mohli barvit látky, musí se kypováním převést na vodorozpustnou, k celulosovým vláknům afinní formu – leukosloučeninu kypového barviva. Po natažení barviva na vlákna se leukosloučenina oxidací na vzduchu opět změní na prvotní ve vodě nerozpustné kypové barvivo.

Postup barvení můžeme rozdělit do čtyř stádií:

- kypování – převedení barviva na rozpustnou formu,
- natažení barviva na vlákno,
- oxidace – převedení barviva zpět na nerozpustnou formu,
- závěrečné zpracování.

2.1 Kypování

Kypování, tj. převedení ve vodě nerozpustitelného kypového barviva alkalickou redukcí na vodorozpustnou sodnou sůl – leukosloučeninu. Při kypování vzniká za přidání louhu sodného a hydrosulfitu sodná sůl leukosloučeniny kypového barviva, tzv. indoběl, který má odlišnou barvu než původní barvivo, mění se v bezbarvou až slabě nažloutlou sloučeninu, které tzv. říkáme indigová kypa. Všechna kypová barviva se skládají nejméně z jedné keto-skupiny, jež reaguje s hydrosulfitem a louhem (nebo se může použít potaš, soda či draselný nebo sodný louh) za zrodu sodné soli enolové formy ketonu, rozpustné ve vodě. Kypa je tedy roztokem draselné či sodné soli ve vodě. Výsledný roztok by měl mít žluto-zelenou barvu. Při kypování je také velice důležité kontrolovat alkalitu lázně. Literatury [3], [4], [5], [8], [17], [22], [28] nejsou jednotné v doporučení v jak zásaditém prostředí kypovat a následně barvit, ale dá se říci, že pH by mělo být mezi 9 až 11. Uvádí se, že při pH 11 je nejjednodušší redukovat indigo, ale pH 9 je jemnější na vlnu a hedvábí. Je lepší když pH bude na horní hranici, ale nikdy nesmí překročit pH 11, aby došlo k redukcí. Jestliže nedojde ke správnému zkypování, je zbytečné dále pokračovat, barvicí lázeň bude velice špatná a slabá a tudíž i neegální, slabé vybarvení.

Některá kypová barviva se mohou rozpouštět jenom v matečné kypě, jiná se mohou kypovat jak v matečné kypě tak v barvicí lázni.

Kypová barviva můžeme rozpouštět třemi způsoby:

- v matečné kypě s maximální koncentrací barviva,
- v matečné kypě se střední koncentrací barviva,
- rovnou v barvicí lázni.

2.1.1 Kypování v matečné kypě s maximální koncentrací

V matečné kypě se kypují ta kypová barviva, která se hůře redukují, mezi něž patří také indigo. Kypování v matečné kypě s maximální koncentrací se používá pro barvení kypokyselinou, chceme-li dosáhnout sytých odstínů, pro klocovací způsoby barvení. U barvení hydrolyzovanou kypou, když chceme docílit, aby barvení do lázně dodalo co nejméně alkálie. A při barvení s postupně zvyšovanou teplotou. Jestliže se připravuje kypa s max. koncentrací barviva, tak dávkování louhu a hydrosulfitu musí být naprosto přesné a je nutné udržovat předepsanou teplotu a čas kypování.

2.1.2 Kypování v matečné kypě se střední koncentrací

Matečná kypa se střední koncentrací se používá pro barvení vytahovacím způsobem. Připraví se matečná kypa koncentrovaná a to tak, že se smíchá celkové množství barviva s malým množstvím teplé vody, přidá se část louhu sodného a dithioničitanu sodného a za stálého míchání se nechá reagovat 15 až 20 minut. Poté se smíchá s celkovým množstvím vody a dithioničitanu.

2.1.3 Kypování přímo v barvicí lázni

Kypování v barvicí lázni se používá pro snadněji redukovatelná kypová barviva. Celkové množství barviva se rovnou smíchá s celkovým množstvím louhu sodného i celkovým množstvím dithioničitanu sodného. Zahřátá lázeň se nechá 10 až 30 minut zkypovat.

2.2 Natažení barviva na vlákno - barvení

Druhé stádium barvení, tj. adsorpce (nahromadění rozpuštěného barviva na povrchu jiné pevné látky) leukosloučeniny barviva na vlákna je dána mírou agregace barviva v roztoku. Čím více je barvivo agregováno, tím je jeho vytahovací schopnost větší. Sodné soli leukosloučenin kypových barviv vykazují vysokou afinitu k celulóзовým vláknům, rychle natahují z vodných roztoků. Nejprve se tedy barvivo uchytí na povrchu vlákna, dále difunduje dovnitř, kde barvivo vykristalizuje. Též schopnost a rychlost difuze barviva do vláken podléhá stupni disperzity barvicích molekul. Indigo obsahuje poměrně menší molekulu (v porovnání s jinými barvivy) a tím jsou jeho vazebné schopnosti do značné míry determinovány. Stálé uchycení v mikropórech vláken je možné díky schopnosti tvořit větší shluky, jež nemohou opustit mikropóry vlákna, a barvivo je trvale uchyceno uvnitř vlákna.

2.3 Oxidace

Třetím stádiem barvení je oxidace – okysličení leukosloučeniny barviva na vlákne, které se provádí buď pomocí oxidačních prostředků, nebo samovolným působením vzdušného kyslíku po vyndání textilie z barvicí lázně. Na vzduchu zpětnou reakcí přechází ve vodě rozpustná leukoforma indiga zpět na svou nerozpustnou podobu. Po vyndání textilie z barvicí lázně můžeme pozorovat nádhernou změnu barvy textilie ze žlutozelené na indigo modrou oxidací na vzduchu.

2.4 Závěrečné zpracování – praní

Posledním, čtvrtým stádiem barvení je praní, abychom docílili stability odstínu a dosáhli maximálních stálostí. Obarvený materiál se pere ve vroucí mýdelné lázni, říká se mu tzv. horké mydlení. Tím dojde k fyzikálním změnám amorfních částic barviva, tj. ke krystalizaci barviva, jež se projeví posunem odstínu vybarvení, docílí se brilantnějšího odstínu a vyjasnění barvy.

3 METODY BARVENÍ INDIGEM

Barvení indigem je tak charakteristické a odlišné od ostatních barvicích postupů. Je to poměrně pracný a nelehký proces, v minulosti se používalo k obarvení např. zkvašené lidské moči, z tohoto důvodu byli barvíři vyhnáni na okraje měst (v Praze např. na Barvířský dnešní Slovanský ostrov). Není to zrovna nejjednodušší barvivo k použití, ale může nám přinést intenzivní a uspokojující výsledky (výsledky, zdary či nezdary se mohou různit v závislosti na použité metodě).

Indigo můžeme zkypovat rozmanitými redukčními činidly. V minulosti se používala např. moč, potaš, zinkový kovový prach aj. Barvení bylo velice zdlouhavé, fermentace (kvašení) probíhala několik dnů až měsíců. V dnešní době se využívá nejvíce hydrosulfít a louh, barvicí proces se výrazně urychlil. Uvádím zde i některé recepty, které se používaly v minulosti.

3.1 Močovinová lázeň

Močovinová lázeň byla hodně používána v minulosti. Její připravení není náročné, je to jednoduchý recept, ale příprava je velice zdlouhavá. Avšak výhodou této lázně je, že může být používána do doby než je lázeň vyčerpána, může být využívána po více měsíců.

Př. lázně: pro tuto lázeň je potřeba 4 litrů moče. Do kádě s močí přidáme 2 lžičky syntetického indiga a přikryjeme víkem. Po celou dobu se musí udržovat konstantní teplota 50 °C a lázeň se musí denně míchat a vždy přikrýt víkem. Po cca dvou týdnech by měla mít lázeň žlutozelenou barvu a pak je připravena k barvení. Samotné barvení probíhá skoro týden, tkanina se vloží do lázně na 5 až 6 dnů, po té se vyndá a nechá se na vzduchu cca 30 až 60 minut volně oxidovat. Pro požadovaný, tmavší odstín se opakuje ponoření na 5 až 6 dnů. [5]

3.2 Lázeň se zelenou skalicí

Tato chemická lázeň používá skalici a vápno pro redukci indiga. Připravovala se z přírodního indiga, které muselo být jemně namleté.

Př. lázně: potřebujeme nádobu o 120 – 130 galonů (1 galon = 4,6 litrů), 5 liber indiga (1 libra = 0,45 kg), 1 libru soli, 5 a půl libry vápna a 5 liber skalice nebo zelené skalice. Nádobu naplníme po okraj vodou. V malém množství vody rozpustíme libru sody a půl libry vápna, v tomto roztoku rozmělníme indigo, po rozmělnění tento roztok přidáme do připravené nádoby s vodou. V horké vodě rozpustíme 5 liber zelené skalice, kterou přidáme do lázně. Potom zbytek vápna smícháme s malým množstvím vody, dokad' se nevytvoří kašička a tuto směs přidáme do základní lázně, zamícháme a přikryté necháme odpočinout přes noc. Brzy ráno znovu zamícháme a necháme odpočinout, přibližně po 4 hodinách je lázeň připravena k použití. Roztok by měl mít zelenožlutou barvu, pokud je moc žlutý, mělo by se přidat malé množství vápna. [22]

3.3 Zinková barvicí lázeň

V tomto receptu se používá zinkový kovový prach jako redukční přísada a hydroxid vápenatý jako alkalická přísada. Fermentace trvá 24 až 36 hodin, ale jakmile je lázeň jednou činná, může být udržována po několik dnů, což je její velká výhoda. Nevýhodou této lázně je, že musíme používat velmi objemné nádoby, kvůli zinkovo-vápenatému sedimentu, který se usazuje na dně. [5] Zinková barvicí lázeň se připravuje ve dvou částech: základní lázeň a koncentrát. Základní lázeň se skládá z vody, hydroxidu vápenatého a zinkového kovového prachu. Koncentrát je vlastně rozpuštěné indigo v metanolu s malým množstvím horké vody obsahující hydroxid vápenatý a zinkový prach. Pak se tento koncentrát přidá do hlavní lázně a vzniklý roztok musí odpočívat nejméně 6 až 7 hodin před použitím. Tento postup barvení je sice zdoluhavý, v současné době se již nepoužívá, ale princip barvení je již charakteristický pro dnešní používané metody, proto ho popíši trochu blíže.

Tento recept je pro 2,3 kg textilie:

Základní lázeň: 20 l vody

20 g hydroxidu vápenatého

6 g zinkového kovového prachu

Postup: Pracujeme v dobře větrané místnosti nebo venku, kde naplníme plastovou nádobu 20 l teplé vody, přidáme hydroxid vápenatý a zinkový kovový prach a mícháme,

dokud se hydroxid vápenatý nerozpustí. Odebereme 1l z lázně pro pozdější vypláchnutí nádoby s koncentrátem.

Koncentrát: 2 l horké vody

20 g syntetického indiga

100 ml metanolu

40 g hydroxidu vápenatého

12 g zinkového kovového prachu

Postup: Nalijeme teplou vodu do nerezového hrnce a dáme na plotýnku, udržujeme teplotu okolo 60 °C. Odvážené indigo vložíme do skleněné měrky, po malých dávkách přidáváme malé množství metanolu a mícháme po celou dobu, dokud nezískáme jemnou pastu. Poté ponoříme měrku s indigovou pastou do hrnce s teplou vodou šikmo, aby se voda dostala do měrky, a většina obsahu sklouzne do vody. Jemně mícháme indigovou pastu s vodou, pracujeme pomalu a opatrně. Nevyprázdníme zbytky koncentrátu na dně měrky, protože to budeme potřebovat v dalším kroku. Ve skleněné měrce, kde máme zbytek koncentrátu, zamícháme odvážený hydroxid vápenatý a zinkový kovový prach, mícháme, dokud nezískáme vláchnou pastu. Přidáme tuto pastu do našeho koncentrátu a měrku vypláchneme koncentrátem, aby se všechna pasta dostala do hrnce. Zatímco mícháme koncentrát skleněnou tyčkou, mírně zvýšíme teplotu. Teplota ale nesmí nikdy překročit 60 °C. Koncentrát změní barvu na zelenavou s kovovo-bronzovým filmem s tmavě fialovými bublinami vystupujícími na povrch. Vypneme plotýnku, přikryjeme hrnec potravinářskou folií a necháme koncentrát 3 až 5 hodin odpočívat. Po odpočinku by měl mít náš koncentrát na povrchu bronzový film s fialovými bublinami. Chceme-li se ujistit, že reakce proběhla v pořádku, můžeme ponořit ústřížek látky do koncentrátu na několik sekund, po vyjmutí by látka měla mít nažloutlou barvu měnící se na zelenou a po té na indigo modrou vystavením na vzduchu.

Kombinujeme koncentrát se základní lázní: Pomalu a lehce ponoříme hrnec s koncentrátem do základní lázně tak, aby se koncentrát smísil s okolní tekutinou. Vymyjeme zbytky usazené na dně hrnce základním roztokem, který jsme si odebrali na začátku procesu. Mícháme vzniklý barvicí roztok po směru hodinových ručiček dlouhou dřevěnou tyčí, jejíž konec se musí pohybovat po dně nádoby. Mícháme energicky

několik minut, po té přestaneme míchat a necháme tyč uprostřed nádoby. Když přestaneme míchat, tak se bubliny a sediment shromáždí uprostřed nádoby okolo tyče a vytvoří tak „indigo květ“. Vyjmeme tyč a přikryjeme lázeň, kterou před barvením necháme odpočívat nejméně 6 hod. nebo přes noc.

Barvení: Správná, dobrá lázeň indiga – na povrchu akumulují bubliny = „indigo květina“. Květina je tvořena tmavě bronzovými bublinami uprostřed, které jsou obklopeny světle modrými bublinami (pěnou). Před barvením musíme odebrat tuto kytici bublin a všechny ostatní bubliny, které uchováme v nádobě, protože po barvení je vrátíme zpět. Látku pomalu ponoříme do roztoku, aby se co nejméně vzduchu dostalo do lázně. Textilii bychom měli držet těsně pod hladinou a pohybujeme s ní jemně dokola, ale opatrně, aby se nerozvířil zinkovo-vápenatý sediment usazený na dně. Po třech minutách látku vyndáme, vymačkáme z ní tekutinu do jiné nádoby, kterou pak vrátíme zpět. A necháme látku na vzduchu oxidovat, můžeme pozorovat krásnou změnu barvy. Tkaninu necháme na vzduchu uschnout několik hodin až dnů před vymácháním. Vymýváme opakovaně ve velkém množství vody, až je voda čirá. Finální vymáchání probíhá v mýdlové vodě pro obnovení vzhledu.



Obr. č. 6: „Indigo kytice“.

Údržba lázně: Indigo lázeň je stále aktivní, kvalita se tedy mění s časem. Kondice lázně může být posuzována podle vzhledu indigo kytice, barvy roztoku, charakteru a množství okludovaného vzduchu. Kytice zdravého roztoku je tvořena tmavě bronzově modrými bublinami, které jsou velké, silné a uprostřed lázně a jsou obklopeny světlejšími modrými bublinami. Když lázeň zamícháme, měla by mít zeleno-žluto-hnědou barvu. Pokud je světle zeleně žlutá, jako barva anglické hořčice, pak tam je pravděpodobně velký obsah zinku. Pokud je podobná francouzské hořčici, pak je v pořádku. Jestliže je přebytek zinku v roztoku, upraví se to samo po několika dnech,

ale pokud si chceme být jisti, přidáme více Ca(OH)_2 (hydroxidu vápenatého), abychom zajistili rovnováhu chemikálií.



Obr. č. 7: Správná lázeň.



Obr. č. 8: Vyčerpaná lázeň.

Jestliže roztok při míchání změni barvu z tmavě modré na zelenou, světle modrou s čistými průhlednými bublinami tak to znamená, že indigo lázeň se vrací zpět k nerozpustnému stavu. Je tedy potřeba přidat zinek, tomu se říká tzv. ostření lázně. Pokud je tekutina světle modrá, bezbarvá, místo toho aby byla zelenožlutá, měl by se roztok naostřit přidáním 6 g zinku a „malým“ množstvím Ca(OH)_2 , množství Ca(OH)_2 závisí na kondici lázně. Po přidání zinku a Ca(OH)_2 opatrně zamícháme a necháme stát 6 h. Poté lázeň otestujeme ponořením kousku bavlněné látky, která po vytažení musí na vzduchu změnit barvu na modrou, pokud se tak nestane, opakujeme ostření lázně. Když je indigo vyčerpano, roztok je čistý bez indigo částecek a ostření již nemá žádný efekt, můžeme znovu oživit lázeň: odebereme 2 l původní lázně, ze které připravíme nový koncentrát, který potom vrátíme zpět do původní lázně.

3.4 Hydrosulfitová barvicí lázeň

Tato lázeň je nejvíce používaná v současné době. Využívá dithioničitan sodný jako redukční přísadu, hydroxid sodný a amoniak jsou chemikálie použité pro vytvoření silně alkalické lázně. Tato metoda barvení je velmi rychlá a snadná, avšak tato lázeň nemůže být udržována po dlouhou dobu.

Indigo v následujícím receptu je schopno obarvit 300 g textilie:

Příprava indigo roztoku: 50 g sody

300 ml vroucí vody

30 ml teplé vody

10 g přírodního indiga nebo 5 g syntetického indiga.

Rozpustíme 50 g sody v 300 ml vařící vody, mícháme, dokud se nerozpustí. Indigo dáme do skleněné misky a postupně přidáváme 30 ml teplé vody, mícháme, dokud se nevytvoří pěkná, jemná pasta. Postupně přidáváme prací sodový roztok.

Kombinování indigo roztoku se základní lázní:

4 l vody

25 g dithioničitanu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

Do nerezového hrnce nalijeme 4 l vody, zahřejeme na 45 až 55 °C, teplota nesmí překročit 60 °C! Připravený indigo roztok v misce ponoříme do této vody, aby se voda smísila s roztokem. Lehce mícháme, vymyjeme misku. Potom rozsypeme 25 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ na povrch lázně, nemícháme. Při konstantní teplotě 45 až 55 °C necháme odstát po dobu 30 až 60 minut. Po jedné hodině by měl mít roztok tmavě žlutozelenou barvu s velkými bronzovými bublinami na povrchu. Pokud je lázeň bledě modrá – vybledlá, tak bychom měli přidat trochu více $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ a nechat odstát 10 až 15 min.

3.5 Přírodní (bio) lázeň

Tato metoda byla používána po tisíce let, je připravována z přírodního indiga. Tento způsob barvení je velice časově náročný, ale uspokojující, neměli bychom zapomínat, že se jedná o starodávné tradiční umění. Kvašení lázně trvá mezi týdnem až měsícem, záleží na teplotě, na druhu použité bakterie, na zdroji indiga a na použité vodě. Obrovskou výhodou této lázně je, že může být používána roky, přidává se pouze indigo anebo bakterie.

Tento předpis, množství ingrediencí je jen přibližný [5]:

2,2 kg močoviny

142 g ovsy, pšenice nebo rýžových otrub

340 g cukru, datlí nebo jiných sladkostí

přírodní indigo

20 g biologického septického starteru

45 l teplé vody

amoniak

prací soda
sodový prach nebo hydroxid vápenatý
vinný ocet

3.6 Receptura podle Šmeleva

Předpis pro přípravu matečné kypy podle Šmeleva [4] je následující:

40 kg práškového indiga
125 l louhu 35procentního
300 l vody
34 kg dithioničitanu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

Indigo se rozmíchá v malém množství vody, abychom získali jemnou pastu, pak přidáme 125 l louhu, 300 l vody a za stálého míchání vsypeme 34 kg dithioničitanu sodného. Teplota kypování by se měla udržovat okolo 30 °C, nakonec se lázeň doplní do 1000 l vodou. Hotová kypa má mít olivově žlutou barvu a nanese-li se na skleněnou plochu, měla by změnit barvu na modrou během 15 až 20 sekund.

Pro přípravu barvicí kypy potřebujeme:

5000 l měkké vody
3 až 5 l louhu 35procentního
3 až 4 kg dithioničitanu sodného

Do 5000 l vody se přidá louh a dithioničitan sodný, za stálého míchání přilijeme 200 l matečné kypy a zředí se vodou do 6000 l. Pro světle modré odstíny postačí přilít 120 l matečné kypy.

3.7 Receptura podle Fa. I. G. Farbenindustrie

Předpis pro přípravu matečné kypy podle Fa. I. G. Farbenindustrie [4] je následující:

4 kg práškového indiga
40 l horké vody
7,8 l louhu 38 °Bé
4 kg dithioničitanu sodného

Indigo rozpustíme s malým množstvím vody, přidáme 40 l horké vody, za stálého míchání přidáme louh a dithioničitan sodný. Teplota zkypování je doporučena kolem 50 až 60°C. Po třiceti minutách by mělo být kypování dokončeno a roztok nabraný na skleněnou plochu má mít čistě žlutou barvu a po 20 až 30 sekundách by měl změnit barvu na zelenou. Pokud tomu tak není, měli bychom dodat trochu dithioničitanu sodného a po 5 min zkoušku opakovat znovu.

Pro přípravu barvicí kypy, která obsahuje 1000 l vody, potřebujeme:

- 100 ml louhu 38°Bé
- 150 g dithioničitanu sodného
- 4 kg monopolového mýdla
- 20 kg soli

Do tohoto roztoku za stálého míchání přidáme matečnou kypu, necháme chvíli odstát, poté odebereme vytvořenou „indigo kyticí“ a můžeme barvit. Doporučená teplota barvení je 20 °C.

3.8 Receptura podle Klaudy

Předpis pro přípravu matečné kypy podle pana Klaudy [28] je následující:

- 100 g práškového indiga
- 5 l vody
- 200 ml hydroxidu sodného (NaOH – 38%), neboli louh sodný
- 100 g dithioničitanu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

Ve skleněné nádobě smícháme indigo s několika kapkami jaru (funguje jako smáčedlo) a postupně přiléváme teplou vodu, mícháme, dokud nám nevznikne kaše. Potom přilijeme zbytek vody, přidáme koncentrovaný roztok NaOH a dithioničitan sodný, za stálého míchání přihříváme na teplotu 45 až 50 °C po dobu 15 až 20 min. Vzniklá kypa by měla mít zelenožlutou barvu.

Pro přípravu barvicí kypy potřebujeme:

- 50 l studené vody
- 300 – 400 ml NaOH 38%
- 150 – 200 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

1 – 1,5 kg soli

Do 50 l studené vody přidáme louh sodný a dithioničitan, mícháme, dokud se nerozpustí. Do tohoto roztoku za stálého míchání přidáme matečnou kypu a lázeň by měla být připravena pro barvení. Měli bychom zkontrolovat, zda je lázeň v pořádku. Zkontrolovat alkalitu roztoku, tato metoda doporučuje pH 8 a ověřit si redukční prostředí, zda se indigo dokonale rozpustilo na leukosloučeninu. Roztok kápnutý na skleněnou plochu má být žlutozelený a po chvilce změnit barvu na modrou.

4 LASEROVÁ TECHNOLOGIE

V současné době se laserová technologie využívá v mnoha oblastech, její využití je velice široké, např. záznam dat na CD, v lékařství (oční chirurgie), vojenství, letectví, ve vědě a výzkumu, čtení čárových kódů, značení materiálů, řezání a svařování materiálů a v neposlední řadě v textilním průmyslu – úprava povrchu materiálů, ozařování vláken, designování textilního výrobku. Zjednodušeně můžeme říci, že laserový paprsek o korektních parametrech jsme schopni využít pro nemalou oblast procesů zabývajících se úpravou povrchu materiálů.

4.1 Všeobecná charakteristika laseru

Laser je zdroj světla, který je namířen na značně malou plochu, který soustředí velice vysoké množství energie, čímž dochází ke změnám povrchu bez přímého kontaktu s materiálem. Působí pouze na určené plochy, které chceme upravovat. Laserové světlo je velice odlišné od běžného světla. Laserové záření má své vlastní charakteristiky. Uvolněné světlo má tvar uzounkého svazku, jedná se o koherentní záření (tj. veškeré elektromagnetické vlny mají sinusové záření o stejné frekvenci, stejném směru kmitání a stejné fázi v čase) a monochromatické záření s určitou vlnovou délkou, která charakterizuje typ záření a související barvu. Tato vlnová délka se určuje podle množství energie uvolněné při přechodu do základního stavu. Laserové záření je tedy velmi silné a koncentrované. [23] Laserové záření je také charakterizováno velice vysokou úhlovou a dálkovou přesností. Současná laserová zařízení se pohybují v rozmezí cca 1 – 20 kilometrů.

Laser je slovo, jež pochází z anglického *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, jež můžeme přeložit jako „zesílení světla stimulovanou emisí záření“ [30]. Definice uvádí, že laser je kvantový generátor a zesilovač koherentního záření, které je charakterizováno vysokou monochromatickostí, vysokou hustotou přenášeného výkonu a nepatrnou, velice nízkou rozbíhavostí svazku. Tyto vlastnosti odlišují laserové záření od všech ostatních záření.

Laser je zařízení, jež dodávanou energii transformuje na laserové záření. Energie může být dodávána různorodými způsoby, např. chemicky, opticky (světlem výbojky), elektricky apod. Především záleží na druhu laseru, na jeho konstrukci a také na jeho použití. Velké množství laserů pracuje s jednou frekvencí, kterou nelze změnit, ale

existují i lasery tzv. přeladitelné, které umí používat více frekvencí. Můžeme říci, že laser je aktivní elektrooptický přístroj, který pracuje v blízké i vzdálenější IČ oblasti spektra.

4.2 Typy laserů

Existuje mnoho různých druhů laserů. Typy laserů se mohou rozdělovat do různých kategorií podle mnoha nesčetných hledisek, můžeme říci, že rozřazení laserů podle aktivního prostředí, se zdá být univerzální. Podle aktivního prostředí můžeme lasery rozřadit do čtyř základních skupin: pevnolátkové, plynové, kapalinové neboli barvivové a polovodičové lasery, čili médium pro vznik záření může být pevná látka, plyn, kapalina anebo polovodič. Kromě toho můžeme lasery ještě rozdělit podle délky impulsu na trvale svítící a impulzní.

Laserové zařízení charakterizují tři základní kritéria a to vlnová délka a parametry, které vymezují jeho kvalitu, tj. výkon a životnost. Vlnová délka záření je podstatná pro velikost otisku laseru a udává, ve které oblasti spektra se laserový paprsek pohybuje. Lasery můžeme tedy rozčlenit i podle vlnové délky na lasery pracující v UV oblasti (pod 380 nm), ve viditelném spektru (380 – 760 nm) a na termální lasery, jež pracují s vlnovou délkou vyšší než 760 nm.

4.2.1 Pevnolátkové lasery

Pevnolátkové lasery se hojně uplatňují v medicíně, ve vědě a v průmyslu, používají se převážně pro řezání, vrtání, svařování a 2D nebo 3D opracování. Jsou velmi flexibilní, vyzařované vlnové délky pokrývají viditelnou a infračervenou oblast spektra. Výhodou těchto laserů je jejich robustnost, stabilita a malé nároky na provoz a údržbu. Do této kategorie můžeme zařadit veškeré lasery, které využívají aktivní prostředí v pevné fázi jako např. krystal, polovodič, sklo, aj. Do této skupiny náleží jeden z prvních funkčních laserů, jenž je pravděpodobně nejznámějším představitelem této kategorie – rubínový laser, který využívá krystal syntetického rubínu. Tento laser produkuje světlo ve dvou vlnových délkách (692,9 nm a 694,3 nm – červené světlo) a funguje převážně v impulsním režimu, ale v dnešní době se již moc nepoužívá, byl vytlačen polovodičovými lasery.

Dále do této skupiny patří např. laser označován jako Nd: YAG, který v dnešní době reprezentuje patrně nejlépe technicky zvládnutý pevnolátkový laser a spadá mezi nejrozšířenější pevnolátkové lasery. Jako aktivní prostředí používá krystal yttrium-hlinitého granátu zásobovaného atomy neodymu. Tento laser generuje neviditelné IR záření o vlnové délce 1,064 nm. Dalšími zástupci této skupiny jsou např. Titan-safírový laser, Alexandritový laser, Er: YAG laser, aj.

4.2.2 Kapalinové (barvivové) lasery

Kapalinové lasery se nejvíce používají ve spektrometrii, díky možnosti přeladování na jiné vlnové délky, což je jejich velkou výhodou. Pokrývají oblast vlnových délek 300 – 1500 nm. Používají aktivní prostředí s barevnými centry jako např. Rhodamin 6G, Rhodamin B, Alizarin, Fluorescein, aj. rozpuštěné např. v destilované vodě, lihu, čili využívají opticky buzené roztoky organických barviv. Mezi charakteristického zástupce této skupiny patří rhodamonový laser, který generuje pulsní záření od červené po zelenou oblast spektra. Za největší nevýhody těchto laserů se dá považovat malá životnost aktivního prostředí a toxicita.

4.2.3 Plynové lasery

Plynové lasery nachází uplatnění v mnoha různých oborech od geodzie, medicíny až po průmysl, vrtání, řezání, aj. a dokonce i v textilním průmyslu. Velikou výhodou těchto laserů je jejich značná účinnost. Laserový svazek má velice dobrou homogenitu a velmi nepatrnou rozbíhavost. Mezi hlavní nevýhodu těchto laserů spadá malý výkon, tudíž výkonné plynové lasery dosahují značných proporcí. Plynové lasery využívají aktivního prostředí ve formě směsi plynů jako CO₂, He a N a to v odlišných poměrech podle účelu použití. U těchto typů laserů je nezbytné chlazení, jako chladicí médium se využívají různé roztoky, např. voda, olej atd. Patří mezi lasery, které umí pracovat v impulsním režimu a využívají různou spektrální oblast. Na trhu se vyskytuje obrovské množství plynových laserů, pro př. uvedu jen některé: CO₂ laser (IR), dusíkový (UV), jódový (viditelné světlo, IR), argonový (modrá, zelená spektrální oblast), He-Ne laser (zelená, červená) a spousta dalších.

4.2.4 Polovodičové lasery

V dnešní době patří polovodičové lasery mezi nejrozšířenější. Polovodičové lasery používají jako aktivní prostředí polovodičový přechod. Polovodičové lasery jsou menší a levnější a tudíž skoro nahradili helium-neonové a pevnolátkové lasery, ale ne ve všech disciplínách. Uplatňují se např. v zaměřování a největší uplatnění nachází v přenosu informací, telekomunikacích a výpočetní technice, (CD, DVD, ...). Vydávané světlo září v mnoha barvách spektra (od modré barvy až po IR zónu spektra) a jsou vyráběny v různých se výkonech. Tyto lasery umí fungovat jak v kontinuálním tak i v pulsním režimu a vyznačují se vysokou účinností.

Tab. č. 1: Rozdělení laserů a příklady laserů na trhu.

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka [nm]	Oblast spektra	Použití
Pevnolátkové				
Rubínový laser	Rubín	694,3	Červená	Lékařství, holografie
Nd: YAG laser	Neodym	1064	IR	Spektroskopie, strojírenství, chirurgie, litografie
Titan-safírový laser	Titan, safír	690 -1000	Červená, IR	Spektroskopie
Alexandritový laser	Alexandrit	700 -800	Červená, IR	Řezání, žihání
Kapalinové				
Rhodamin 6G laser	Rhodamin 6G	570 - 650	Červená, oranžová, žlutá	Dermatologie
Kumarin C30 laser	Kumarin C30	504	Zelená	Chirurgie, oftalmologie
Plynové				
CO ₂ laser	Oxid uhličitý	10,6	IR	Stomatologie, řezání, svařování, gravírování
Dusíkový	Dusík	337	UV	
He-Ne laser	Hélium, neon	543,63	Zelená, červená	Zaměřování polohy
Jodový laser	Jód	342, 612, 1315	Viditelné světlo, IR	Věda
Xenonový laser	Xenon, neon, hélium	140 vln. délek	Viditelné světlo, IR	
Hélium-kadmiový l.	Hélium, kadmium	325, 442	Modrá, UV	
Argonový laser	Argon	488, 514	Zelená, modrá	Spektroskopie, oftalmologie
Excimerový laser	XeCl, XeF, ArF, KrCl, KrF	193-351	UV	Laserová ablace, Fotolitografie,
Polovodičové				
GaAs laser	GaAs	650, 840	Červená, IR	Laserová tiskárna, laserová ukazovátka
GaAlAs laser	GaAlAs	670 - 830	Červená	Displeje, přehrávače CD, telekomunikace
GaN laser	GaN	405	Modrá	Blu-ray disky
InGaAlP laser	InGaAlP	630 - 685	Červená	Lékařství

4.3 Laserová technologie v textilním průmyslu

V průmyslu všeobecně je laserová technologie už běžně využívána, v textilním průmyslu však již méně, dá se říci, že věda a výzkum v textilním odvětví se začíná zajímat o laserové technologie. Laserové záření má obrovské uplatnění napříč všemi možnými obory od vědy, lékařství, astronomie až po vojenství, letectví atd. V průmyslu se nejvíce laserového paprsku využívá pro řezání, svařování, kalení, vrtání, obrábění, gravírování a laserového značení povrchů. Laserové značení povrchu a gravírování (vzorování) se používá pro veškeré běžně používané a dostupné materiály jako kovy, plasty (obalové materiály), dřevo, korky, sklo, nerosty aj. Laserový popis tvořený na povrchu materiálů je velice přesný, rychlý, stálý a odolný, což je jeho obrovskou výhodou.

V soudobém textilním průmyslu našla laserová technologie největší uplatnění v řezání vzorků či jednotlivých oděvních dílů. Řezání pomocí laserového paprsku je velice přesné, rychlé a jednoduché. Jeho obrovskou výhodou oproti klasickému stříhání nebo řezání je, že po sobě nezanechává nepřesné a neroztřepené okraje. Při řezání syntetických materiálů se zároveň zataví kraje tkaniny, čímž nedochází k páráni, zatavený kraj je součástí materiálu, a tudíž nepůsobí rušivě.

Novinkou v textilním průmyslu se stávají povrchové úpravy vláken, designování (vzorování) textilního výrobku, jehož velkou výhodou je, že vytvořený dekor je velice trvanlivý, ba dokonce nesmazatelný (nerozrušitelný), což v neposlední řadě zvyšuje kvalitu a konkurence schopnosti na trhu. Designování či značení textilních produktů pomocí laserového paprsku vzniká v jednom jediném kroku, dá se použít na již konečný, hotový výrobek a nevyžaduje aplikování inkoustů, pigmentů či jiných barevných prostředků na rozdíl od obvyklých, osvědčených technologií. Čímž se designování textilních výrobků pomocí laserového záření dostává do popředí a na velice lukrativní místo v konečné úpravě produktů, zvyšujících jeho estetickou hodnotu a tudíž i žádanou finanční stránku.

Desény tvořené pomocí koncentrovaného laserového paprsku vznikají odpařením, natavením, roztavením či úplným spálením povrchové vrstvy textilního materiálu. Mezi další výhody designování laserem patří velká rozlišovací schopnost, jež nám dovoluje produkovat nadmíru jemné obrazy, které jsou jinými metodami v podstatě nedostižitelné. Na textilních materiálech tak můžeme vytvářet unikátní desény, jež se

dají použít jak pro originální tak pro sériovou výrobu. Díky této technologii jsme schopni vytvářet v podstatě veškeré grafické motivy od textu, firemních znaků, složitých kreseb, fraktálních vzorů, fotografií až po 3D efekty.

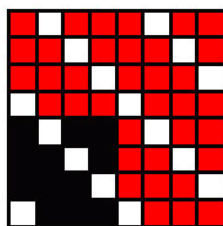
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5 DEFINICE SUBSTRÁTU

Pro tuto studii měla být použita denimová tkanina, na kterou se v současné době aplikují různými „drastickými“ metodami desény odřené, ošoupané a vybledlého, dnes tak žádaného trendového vzhledu. Jelikož se ale v České Republice džínovina již nevyrábí, nebylo v našich silách tuto tkaninu zajistit. Proto byla pro tento experiment džínovina nahrazena přibližně „stejnou“, podobnou tkaninou, na které se pokus prováděl. Jako alternativu jsme použili 100% bavlněnou tkaninu v osnovní keprové vazbě (bavlněný kepr). Protože keprová tkanina je velice podobná denimu, džínovina je tkanina převážně v osnovní keprové vazbě (př. gramáže: lehký denim: 220 g/ m², džínová sukně: 280 – 300 g/ m²).

Použitá tkanina:

- materiál: 100% bavlna,
- vazba: čtyřvazný osnovní kepr levého směru,
- plošná hmotnost: 240 g/m²,
- dostava osnovy: 32 nití/1cm,
- dostava útku: 16 nití/1cm.



Obr. č. 9: Čtyřvazný osnovní kepr levého směru.

6 BARVENÍ

Předpisy pro barvení indigem se v různých literaturách [3], [4], [5], [8], [17], [22], [28] kriticky liší. Liší se jak dávky přísad, tak i teplota a čas zkypování (aby správně proběhla indigo redukce – převedení nerozpustné formy indiga na rozpustnou – leukosloučeninu indiga tzv. indoběl), dále se liší i předepsané, doporučené pH, při kterém by mělo nejlépe proběhnout zkypování a při kterém by se mělo barvit, různí se teplota i čas barvení a v některých postupech dokonce nejsou uvedeny ani čas ani teplota, při které by se mělo barvit. V dnešní době se již převážně barví v hydrosulfitových lázních. My jsme vyzkoušeli recepturu podle Šmeleva [4] a podle Klaudy. [28].

6.1 Barvení podle Šmeleva

Recepturu podle Šmeleva jsme upravili pro naše podmínky v laboratoři, tzn. Šmelev uvádí přípravu matečné kypy z 40 kg indiga a 1000 l vody, pro přípravu barvicí kypy je třeba 5000 l vody. Což je pro naše účely obrovské množství, pro matečnou kypu jsme použili 4 g indiga a 100 ml vody, pro barvicí kypu 500 ml vody. Bylo použito indigo dovážené od firmy Fisher Scientific Pardubice, Indigo, synthetic, 100 g (MW = 262,26 C16 H10 N2 O2).

Použité chemikálie: NaOH (35%).....louh sodný 35procentní
Na₂S₂O₄.....dithioničitan sodný
CH₃COOH.....kyselina octová koncentrovaná

Upravená receptura:

- matečná kypa: 4 g syntetického indiga
12,5 ml NaOH (35%)
30 ml H₂O
3,4 g Na₂S₂O₄
100 ml H₂O
- barvicí kypa: 500 ml H₂O
0,5 ml NaOH (35%)
0,6 ml Na₂S₂O₄

20 ml matečné kypy

Postup: 4 g granulovaného indiga se rozpustí ve velice malém množství vody, aby nám vznikla jakoby kaše, za stálého míchání přidáme 12,5 ml louhu sodného, potom přidáme 30 ml vody, stále mícháme a vsypeme 3,4 g dithioničitanu, nakonec zředíme vodou na 100 ml a za teploty 30 °C stále mícháme. Udržíme konstantní teplotu, probíhá kypování, hotová kypa by měla mít olivově žlutou barvu. Zda dobře a správně proběhlo zkypování poznáme, jestliže kypu nanese na skleněnou či plastovou plochu, měla by během 15 až 20 sekund zmodrat. Matečnou kypu přiklopíme, abychom zabránili přístupu vzduchu a zabránili tak nežádoucímu okysličování a necháme odstát. Pustíme se do přípravy barvicí kypy. Do skleněné nádoby nalijeme 500 ml vody, přidáme 0,5 ml louhu a 0,6 ml dithioničitanu, vše dobře promícháme. Do takto připraveného koncentráту za stálého míchání nalijeme 20 ml připravené matečné kypy, dolijeme vodou do 600 ml a můžeme začít barvit. V tomto receptu se ale již neuvádí při jaké teplotě a jak dlouho máme barvit. Barvili jsme při teplotě 30 - 40° C a ponor trval 25 minut. Po vyndání jsme vzorky tkanin rozložili a nechali na vzduchu volně zoxidovat, hned po vyjmutí jsme mohli pozorovat krásnou změnu barvy ze zelené na tmavě modrou. Materiál jsme nechali do druhého dne volně uschnout. Po té jsme obarvenou tkaninu proplachovali ve studené tekoucí vodě. Materiál velice pouštěl barvu. Po vymáčení jsme ho nechali opět uschnout. Usušené obarvené vzorky ale nebyly moc pěkné, nepodařilo se nám dosáhnout egálního probarvení.



Obr. č. 10: Obarvené vzorky.

6.2 Barvení podle Klaudy

Pan Klauda je pedagog a textilní výtvarník, jeden z mála, který v České Republice udržuje a snaží se zachovat tradici barvení indigem. Tento postup barvení je tedy

odzkoušený a měl by být plně funkční. Pan Klauda uvádí recept se 100 g indiga a 5 l vody pro mateční kypu a 50 l vody pro barvicí kypu, proto jsme si pro své účely množství přísad opět upravili. Použili jsme stejné indigo jako v předchozí receptuře.

Použité chemikálie: NaOH (38%).....louh sodný 38procentní

Na₂S₂O₄.....dithioničitan sodný

CH₃COOH.....kyselina octová koncentrovaná

Upravená receptura:

- mateční kypa: 1,2 g syntetického indiga
1,2 ml NaOH (38%)
300 ml H₂O
0,75 g Na₂S₂O₄
- barvicí kypa: 600 ml H₂O
4,8 ml NaOH (38%)
2,4 ml Na₂S₂O₄
30 g soli

Postup: Do skleněné nádoby odvážíme 1,2 g indiga, kápneme 2 až 3 kapky jaru (jež funguje jako smáčedlo) a za stálého míchání postupně a pomalu přiléváme vlažnou vodu. Po té přidáme koncentrovaný roztok louhu sodného, mícháme a zahříváme na teplotu 45 až 50 °C a nakonec přidáme dithioničitan sodný. Po dobu 15 až 20 minut udržujeme teplotu stále mezi 45 až 50 °C a po celou dobu pomalu a lehce mícháme, probíhá kypování. Neměla by se vytvořit pěna. Požadovaná a správná kypa by měla mít zelenožlutou barvu. Kypu odstavíme a připravíme si barvicí kypu. Do 600 ml vody přidáme nejprve louh sodný a potom dithioničitan sodný, dobře promícháme a za stálého míchání nalijeme mateční kypu. Měli bychom zkontrolovat, zda je roztok v pořádku, jinak by barvení bylo zcela zbytečné. Roztok by měl mít zelenožlutou barvu a po kápnutí na skleněnou plochu musí změnit své žlutozelené zbarvení pomalu na modrou. S takto připraveným roztokem můžeme začít barvit. Ponor jednoho vzorku trval 30 min při opatrném slabém míchání, musíme dávat pozor, abychom do lázně zbytečně nedostávali vzduch. Po vytažení jsme tkaninu ihned oplachovali ve studené tekoucí vodě a mohli jsme pozorovat krásnou změnu barvy, po té jsme vzorky rozložili a nechali volně uschnout. Na závěr se musí ještě udělat tzv. mýdlení – konečné

zpracování, tj. vyvaření obarvené tkaniny v mýdlové vodě. Výsledné obarvení bylo uspokojující, dosáhli jsme sytého, tmavého a i docela uspokojujícího egálního obarvení.

Dále jsme pro naše laboratorní účely barvili jenom v matečné kypě.

6.3 Barvení v matečné kypě úpravou pH

V literaturách a různých recepturách [3], [4], [5], [8], [17], [22], [28] se uvádí, že pro dosažení tmavších, sytějších odstínů modré se musí provést více ponorů (neboli tahů) za sebou, mezi kterými se ale musí nechat tkanina alespoň 30 min na vzduchu odpočívat. Další ponory už mají ale trvat kratší dobu, v čemž se literatury také rozcházejí, uvádí délku trvání dalších ponorů od 5 do 10 min, pokud by ponor trval déle, mohlo by dojít naopak k zesvětlení. Přičemž uvádí, že nejlepší je barvit při hodnotě pH 9 až 11.

Použili jsme matečnou kypu podle Klaudy, kterou jsme si upravili pro naše podmínky.

- matečná kypa:
 - 2 g syntetického indiga
 - 2 ml NaOH (38%)
 - 500 ml H₂O
 - 1,25 g Na₂S₂O₄

Takto připravená matečná kypa měla pH 11. Dosahované pH jsme měřili pomocí stolního laboratorního pH metru. Kypování proběhlo uspokojivě, matečná kypa měla zelenožlutou barvu a po kápnutí na bílou plochu se barva krásně změnila na tmavě modrou. Dále jsme po malých dávkách – po kapkách přidávali kyselinu octovou, tím jsme měnili alkalitu lázně, snižovali jsme postupně pH až na hodnotu 7,6. Nejtmavšího odstínu jsme dosáhli při pH 11,8 a postupně se snižováním pH se zmenšovala i sytost obarvení, nejslabšího odstínu jsme docílili při hodnotě 7,6 pH. Vzorky jsme barvili při teplotě 33 až 45 °C a ponor každého vzorku trval 2 minuty. Po vyndání se vzorek ihned proplachoval ve studené tekoucí vodě, abychom odstranily přebytečné ulpívající zbytky barviva na povrchu tkaniny.

Při hodnotě pH 11 měl vzorek po vyndání z lázně krásnou zelenou barvu, která přecházela na modrou. Čím se pH zvyšovalo, zelená barva se pomalu vytrácela a obráceně u nižších hodnot pH (pod 7,6) nastával naprosto stejný jev. Čili nejtmavšího odstínu jsme docílili při pH 11,8 a nejsvětlejšího odstínu při pH 7,6. Jestliže překročíme

tuto hranici, barevný odstín se již dále nemění, rozpustná forma indiga – leukosloučena se vrací zpět na nerozpustnou formu, a tudíž se probarvení stále zhoršuje.



Obr. č. 11: Obarvené vzorky

(pH zleva do prava 11,8 10 9,8 9,6 9,4 9,2 9 8,8 8,6 8,4 8,2 8 7,8 7,6).



Obr. č. 12: Obarvené vzorky, použité pro ozařování

(pH zleva do prava 11,8 10 9,6 9 8,6 8,4 8 7,6).

6.4 Zhodnocení výsledků

Před barvením je velice důležité zkontrolovat kvalitu barvicí lázně, ověřit si alkalitu a redukční prostředí lázně. Jak již bylo řečeno, zdroje uvádí ideální pH mezi 9 až 11, jež lze potvrdit. Přesvědčit se o pH lázně můžeme indikačními papírky, což není přesné, ale dostačující. Značně podstatné je prověřit redukční prostředí, čili zda proběhlo dokonalé rozpuštění indiga (převedení na leukoformu, tzv. indoběl indiga). Obě tyto zkoušky můžeme obecně provést vizuálně. Zda je kypa v pořádku (správná kypa musí mít zelenožlutou barvu), můžeme ověřit tím, že kápneme roztok na skleněnou či keramickou plochu nebo do lázně ponoříme plastový bílý proužek. Když plastovou pásku vyjmem, roztok musí mít zelenožlutou barvu, která se následně cca po 30 s změní na modrou. Jestliže se žlutá barva vůbec neobjeví a vidíme modré tečky, pak roztok obsahuje kyslík a indigo není dostatečně rozpuštěné, musíme dodat dithioničitán sodný. Naopak jestliže převládá žlutá barva a na zelenou se mění velice pomalu, prostředí je nadmíru redukční, lázeň musíme okysličit (buď mícháním, nebo peroxidem

vodíku), k tomuto problému však dochází velice ojediněle. Větším problémem je, abychom zabránili přístupu vzduchu do lázně při kypování a barvení.

Při pH 12,5 zkypování proběhlo, ale neuspokojivě, nedošlo k dokonalému rozpuštění indiga na leukosloučeninu. Kypa neměla zelenožlutou barvu, ale slabounce zelenomodrou. Zvyšováním pH – přidáváním louhu sodného, kypa postupně ztrácela zelenou barvu, měnila se jen na modrou. Roztok se choval jako vyčerpaný. Stejně se chovala lázeň při nízkých hodnotách pH.

Nejdůležitější pro správné barvení tedy je, abychom docílili dokonalého rozpuštění indiga, při pH 11 je nejjednodušší redukovat indigo. Změnou pH se nám podařilo docílit různého odstínu textilie. Nejtmavšího odstínu jsme dosáhli při hodnotě pH 11,8. Další zvyšování pH nemělo žádný smysl, protože barevnost se již neměnila. Nejsvětlejší odstín modré barvy jsme získali při pH 7,6 a pod těmito hodnotami opět již nedocházelo k žádné barevné změně. Výsledkem tedy je, že v rozmezí 7,6 až 11,8 pH dochází k výrazným barevným změnám odstínů modré.

7 MĚŘENÍ BAREVNOSTI

Měření barevnosti jednotlivých obarvených vzorků probíhalo na spektrofotometru – na přístroji Datacolor SF600.

Obecná charakteristika zařízení:

- Model: Datacolor SF600
- Spektrální rozsah: 360 – 700 nm
- Světelný zdroj: pulzní xenonové výbojky
- Měřicí geometrie: d/8°

Pomocí Datacoloru SF600 jsme změřili remisní křivky, z nichž se vypočítaly K/S hodnoty. Relativní barevné síly – síly odstínu (K/S) byly stanoveny na základě Kubelka – Munkovy rovnice.

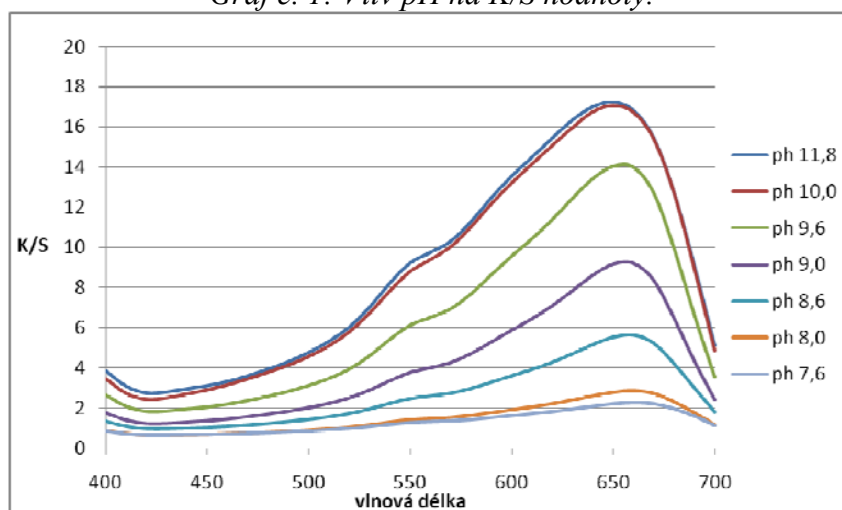
$$K/S = (1-R)^2/2R$$

K...koeficient absorpce barviva na λ_{\max}

S...koeficient rozptylu na λ_{\max}

R...remise odraženého světla na λ_{\max}

Graf č. 1: Vliv pH na K/S hodnoty.



Z grafu je zřejmé, že s rostoucím pH lázně se zvyšuje i barevnostní projev (K/S hodnoty) obarvené textilie. Při pH 11,8 a 650 nm max. je K/S hodnota nejvyšší a téměř totožná s pH 10, čili největšího sytostního odstínu bylo dosaženo při těchto hodnotách a další zvyšování pH již nemá vliv na změnu barevných nuancí, a naopak nejsvětlejšího odstínu bylo docíleno při pH 7,6.

8 ANALÝZA PROBARVENÍ

Po obarvení bavlněné tkaniny indigem bylo cílem zjistit, jakého probarvení se nám podařilo docílit. Za tímto účelem následovala řada řezů přízí a po té obrazová analýza získaných příčných řezů. Obrazová analýza má velice široké uplatnění ve výzkumu jak živé tak neživé hmoty.

8.1 Příčné řezy

Všechny metody, kterými lze získat příčné řezy přízí, jsou metody destruktivní. Doposud nikdo nepřišel na způsob, při kterém by při řezu příže nedocházelo k žádným deformacím. Pro tuto práci byly použity řezy přízí z ručního mikrotomu o tloušťce 20 μm . Byla udělána řada řezů přízí pro každou hodnotu pH, z nichž byly vybrány vhodné preparáty pro obrazovou analýzu.

8.2 Obrazová analýza

Celkový systém pro počítačovou analýzu obrazu se sestává z počítače, který je vybaven speciálním softwarem a z digitalizačního zařízení. V celkovém průběhu rozboru je zásadním krokem, abychom získali kvalitní digitalizovaný obraz předlohy, dobré připravení preparátů (v našem případě mikroskopických preparátů). Digitalizovaný obraz je v nekomprimované formě uložen v počítači a prostřednictvím speciálního programu dále upravován a posuzován. Podstatným krokem obrazové analýzy je tzv. segmentace, tj. že v obraze musíme stanovit objekty, které chceme posuzovat, a po té můžeme realizovat měření a zjistit požadované atributy objektů jako např. obvod, plochu, délku atd.

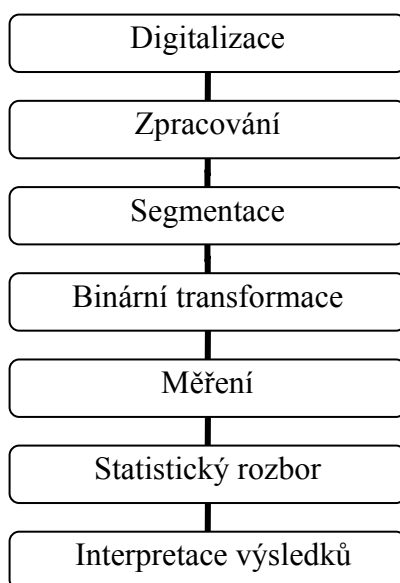
Pro tuto studii byl použit softwarový program NIS-Elements AR 2,30. Jedná se o systém, který byl navrhnut pro pořizování a ukládání obrazů, pro měření geometrických vlastností textilních materiálů ale i pro měření různých jiných materiálů či jevů. Program NIS-Elements (do roku 2006 původním názvem LUCIA) je jedním z nejpoužívanějších softwarů pro obrazovou analýzu v ČR, také i proto že je od českého výrobce Laboratory Imaging s.r.o. a proto je vybaven i českou jazykovou verzí. Díky obrazové analýze – systému NIS-Elements jsme schopni hodnotit povrchovou strukturu textilií, příčné řezy přízí atd. Pomocí tohoto systému můžeme sledovat, snímat, měřit

různé textilní preparáty a archivovat obšírné obrazové záběry a jejich následné zpracování.

Části systému: PC se softwarem NIS, kamera, mikroskop, mikroskop.

Obecně můžeme celý postup rozčlenit na tyto části:



- přípravu textilních preparátů
- nasnímání obrazů a jejich zpracování
- selekce a rozbor charakteristických rysů obrazu.



Obr. č. 13: Schéma postupu analýzy obrazu.


8.2.1 Postup analýzy obrazu v programu NIS-Elements AR 2,30

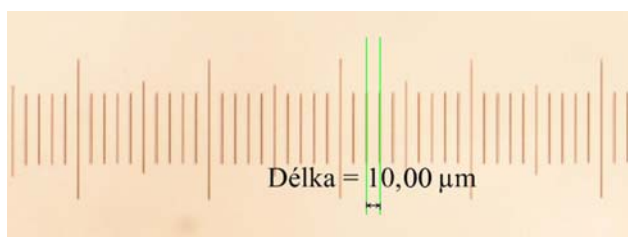
1. Sejmутí obrazu

Pomocí tlačítka  živý obraz v horní liště se v hlavním okně objeví aktuální obraz, který je snímán kamerou v reálném čase. Podle obrazu kamery doladíme zaostření a zvětšení mikroskopu. Pokud jsme s obrazem spokojeni, pomocí tlačítka zmrazit obraz  ukončíme expozici kamery a zobrazí se tak snímek, který předcházal momentu stisknutí. Já jsem si nejprve veškeré preparáty příčných řezů jednotlivých přízí nasnímal do jednotlivých obrazů a uložila pro další práci. Nasnímané obrazy se musí uložit ve formátu ND2 nebo JPEG2000, protože tyto formáty si uchovávají veškerá data, při kterých byly snímky pořízeny (poskytují množství informací nejen o kalibraci,

vektorové rovině, aj.). Samozřejmě program NIS-Elements podporuje řadu standardních formátů jako JPG, TIFF, GIF, BMP, PNG a další.

2. Sejmутí kalibračního měřítka

Je nutné si ověřit, zda je celý systém nakalibrován správně. K tomu nám poslouží kalibrační měřítko, které vložíme pod mikroskop, zaostříme obraz a sejmemo do počítače při stejném nastavení mikroskopu, jako jsme snímali veškeré preparáty. Pomocí ikony pro měření délky  dvěma šikmými úsečkami označíme předem známou vzdálenost na kalibračním měřítku a tak se ujistíme, zda je kalibrace v pořádku a měřené objekty budou v reálných rozměrech.



Obr. č. 14: Ověření kalibrace pomocí kalibračního měřítka.



3. Upravení nasnímaných obrazů

Nasnímané obrazy jednotlivých příčných řezů bylo nutné dále upravit, aby byla lépe viditelná hranice mezi probarvenou a neprobarvenou částí příze. U vzorků obarvených při pH 11,8 byla tato hranice dostatečně zřetelná, úprava nebyla až tak nutná, ale se snižováním pH se zřetelnost rozhraní snižovala a bylo nutné si „pohrát“ s barevným nastavením, pomocí úprav kontrastu, jasu a barevných složek, transformací jednotlivých barev, změnou sytosti odstínu apod. Avšak u řezů přízí s pH 7,6 se mi nepodařilo hranici mezi probarvením rozlišit. Sytost, barevný odstín byl tak slabý, že ani barevnou úpravou se nepodařilo získat viditelnou hranici. Měření probarvení probíhalo u řezů přízí obarvených při hodnotách pH 8, 9, 10 a 11,8.

4. Úprava binárního obrazu

Jedná se o tzv. prahování – převod obrazu na binární. Binární vrstva je rastrový obraz, který nabývá jen dvou barevných hodnot. NIS-Elements používá více obrazových vrstev, jež slouží jiným účelům. Nasnímaný obraz je vrstva obrazu, která obsahuje vlastní nasnímaná data. Když otevřeme uložený obraz, je tedy nahráván do této vrstvy. Rozměry vrstvy obrazu determinují zobrazení binární vrstvy i anotační vrstvy. Anotační

vrstva si uchovává anotační objekty jako šipky, značky, poznámky a objekty měření ve vektorovém formátu.

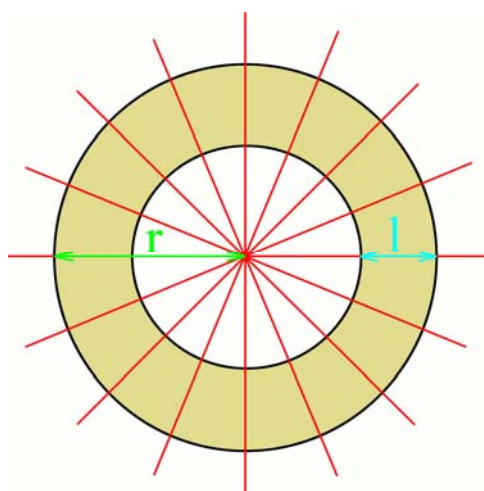
Pomocí příkazu Binární > Editace binárního obrazu je možné upravovat obraz pro účely, které potřebujeme, NIS-Elements nabízí obrovskou řadu možností úprav. Pomocí kreslicího nástroje Bezierova křivka prázdná,  jež kreslený objekt vymezuje pomocí bodů na jeho obvodu, jsem detekovala obrys řezu. Po té jsem v nasnímaném obrazu pomocí Měření > změřit objekty > výsledky měření objektů získala těžiště řezu (centre X a Y). Potom jsem v binárním obrazu vložila značku do středu plochy řezu – udáním hodnot polohy X a Y pro umístění  růžice. Dále opět pomocí kreslicího nástroje Bezierova křivka jsem vymezila obrys uvnitř – neobarvenou plochu.

5. Měření

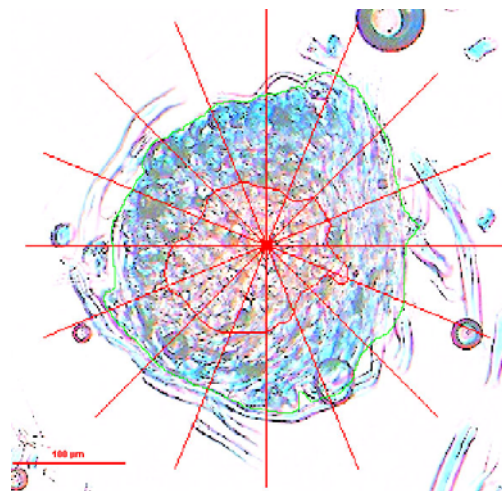
Na takto připraveném obrazu probíhalo měření. NIS-Elements uživateli dovoluje upravovat obecné charakteristiky měření, uživatel si může zvolit příznaky, které ho zajímají. Interaktivní měření v NIS-Elements umožňuje přímé měření objektů s okamžitým výstupem naměřených hodnot přímo na obrazovku. Měření probíhalo pomocí parametru délky (Length) výběrem příslušného příkazu v menu Měření, kliknutím umístíme začátek a konec čáry, v obrazu se vykreslí kóta.

r...poloměr příze

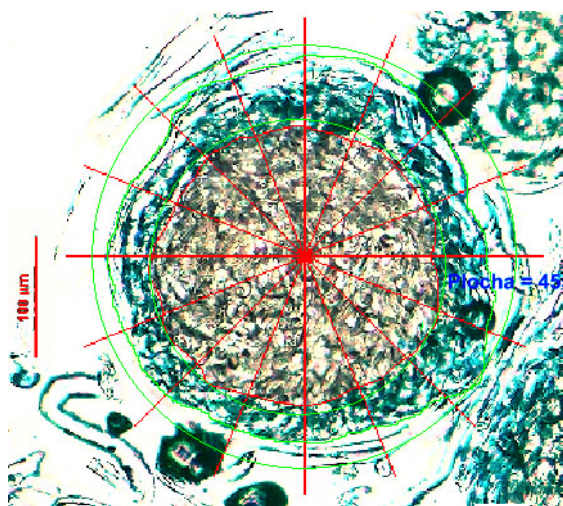
l...délka – hloubka probarvení



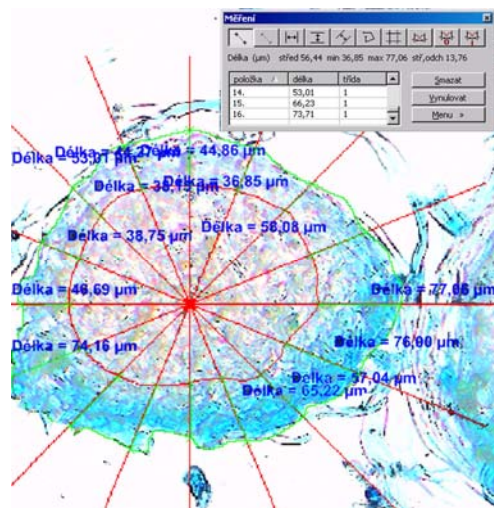
Obr. č. 15: Model, dle kterého probíhalo měření.



Obr. č. 16: pH 11,8 osnova.



Obr. č. 17: upravený binární obraz - pH 8 osnova.



Obr. č. 18: pH 10 osnova.

6. Výsledky měření

Naměřená data se ihned zobrazí na obrazovce. NIS-Elements počítá základní statistické charakteristiky jako střední hodnotu, odchylku a rozložení měřených příznaků. Získaná data je možno exportovat do aplikace Microsoft Excel, do textového souboru nebo do schránky. V našem případě byla data exportována do programu Excel. Je možné exportovat i samotné grafy.

8.3 Vyhodnocení výsledků

Získaná data pomocí programu NIS Elements AR byla dále upravována a vyhodnocována pomocí programu Microsoft Excel a Matlab.

Pro každou hodnotu pH bylo proměřeno 10 vybraných „nejlepších“ řezů. Na jednom řezu příze se měřil 16x poloměr a délka – hloubka probarvení k jednotlivému poloměru. Pro jeden obarvený vzorek (pro jednu hodnotu pH) bylo tedy naměřeno 160 hodnot poloměru a 160 hodnot hloubky probarvení.

8.3.1 Statistické vyhodnocení

Pro statistické vyhodnocení míry probarvení osnova a útku závislé na pH lázně je v této diplomové práci využito krabicových grafů. Krabicový graf má několik předností oproti ostatním statistickým metodám a to především:

- je jednoduše interpretovatelný,

- zobrazuje nejdůležitější kvantilové charakteristiky jako medián, dolní a horní kvartil,
- mohou porovnávat výsledky měření mezi sebou při změně některého parametru.

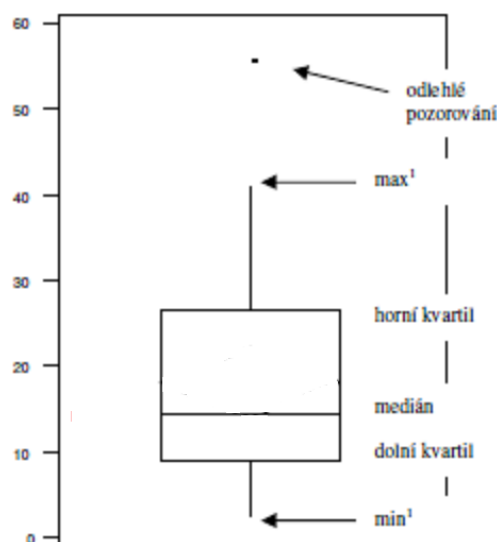
Kvantily jsou statistiky, které charakterizují polohu jednotlivých hodnot v rámci sledované proměnné. Kvantily jsou odolné vůči odlehlým pozorováním (na rozdíl od střední hodnoty). Obecně lze kvantil definovat jako hodnotu, která rozděluje výběrový soubor na dvě části. První z nich obsahuje hodnoty, které jsou menší než kvantil. Druhá část obsahuje hodnoty, které jsou větší nebo rovny danému kvantilu. Pro určení kvantilu je proto nutné výběr uspořádat od nejmenší hodnoty k největší.

V krabicových grafech se nejčastěji setkáváme s následujícími kvantily:

- dolní kvartil $x_{0,25}$ – je 25% kvantil, tzn., rozděluje datový soubor tak, že 25 % hodnot je menších než tento kvartil a zbytek 75 % hodnot je větších nebo rovných,
- medián $x_{0,5}$ – je 50% kvantil, tzn., rozděluje datový soubor tak, že 50 % hodnot je menších než medián a zbytek je větších nebo rovných,
- horní kvartil $x_{0,75}$ – je 75% kvantil, tzn., rozděluje datový soubor tak, že 75 % hodnot je menších než tento kvartil.

Jestliže počet vzorků je dělitelný 4 beze zbytku, kvantily dělí výběrový soubor na 4 stejně četné části. V případě sudého počtu dat není medián definován jednoznačně, za medián lze považovat kterékoliv číslo mezi dvěma prostředními hodnotami. Obdobně i pro kvantily.

Krabicový graf se ve statistice využívá od konce 70. let, prezentoval ho statistik Tukey pod názvem „box with whiskers plot“ – „krabicový graf s vousy“. Grafická podoba grafu se v různých aplikacích může mírně lišit. Na obrázku číslo 20 je uveden typický krabicový graf.



Obr. č. 19: Krabicový graf.

Odlehlá pozorování jsou znázorněna jako izolované body. Více k problematice nalezení odlehlých pozorování lze nalézt např. v literatuře [20]. Konec horního (popřípadě dolního) vousu představuje maximum (popřípadě minimum) proměnné po vyloučení odlehlých pozorování. Horní povrch krabice (víko) zobrazuje horní kvartil z naměřených dat. Obdobně dolní povrch krabice (dno) představuje dolní kvartil ze získaných dat. Vodorovná úsečka uvnitř krabice označuje medián.

Z krabicového grafu lze získat následující poznatky:

- minimální naměřená hodnota,
- maximální naměřená hodnota,
- dolní a horní kvartil,
- medián,
- mezikvartilové rozpětí – $IQR = x_{0,75} - x_{0,25}$ lze určit z výšky krabice,
- míra směrodatné odchylky (rozptýlenosti dat) – lze zjistit z výšky krabice,
- symetričnost dat (šikmost) – lze určit z polohy mediánu z vnitřních 50 % dat.

V této práci bude uvedeno více krabicových grafů v jednom obrázku. Tyto jednotlivé krabicové grafy popisují vzorky s odlišnými hodnotami pH lázně. Výhody zobrazení více krabicových grafů do jednoho obrázku jsou následující:

- lze porovnávat míru minima, dolního a horního kvartilu, mediánu a maxima jako funkci měřeného parametru (v našem případě vlivu pH lázně),

- lze určit trend sledovaných parametrů krabicového grafu při změně parametru (v našem případě pH).

Krabicové grafy se v současné době značně využívají pro jednoduchou a zároveň názornou interpretaci naměřených vstupních dat. Jejich využití pro statistické vyhodnocení můžeme jenom doporučit.

8.3.2 Vyhodnocení probarvení

Ze systému NIS Elements jsme získali pro každou přízi, která byla barvena v odlišném prostředí pH následující výsledky:

- poloměr příze,
- hloubku probarvení příze,
- procentuelní vyjádření probarvení příze.

Celkem jsme měřili na 10 řezech příze pro jednotlivá pH. Z těžiště příze (údaj získaný ze systému) jsme provedli měření poloměru v 16 směrech (po 22,5°) a ve stejných směrech také měření hloubky probarvení. Celkem jsme tedy získali 160 měření (16 směrů x 10 řezů) pro poloměr a pro hloubku probarvení každého pH.

Z těchto výsledků jsme dále vypočetli procentuelní vyjádření probarvení příze pomocí podílu. V čitateli je hloubka probarvení příze a ve jmenovateli poloměr příze. Tento údaj je užitečný z důvodu, že celkové výsledky nejsou závislé na nepřesnostech poloměru příze v lokální oblasti (například při měření osnovy pH 11,8).

Statistické vyhodnocení bylo provedeno ze 160 získaných údajů. Hlavním důvodem je, že tyto údaje zachycují vliv provázání příze (protože řezy přízí byly uskutečněny po vyparání přízí z obarvené tkaniny). Zatímco jestliže by byly výsledky prováděny z průměrných hodnot jednotlivých řezů, informace by byly zkreslené.

8.3.3 Vyhodnocení probarvení osnovy

Celkově bylo zjištěno 160 údajů pro jednotlivá pH, které jsou uvedeny v příloze (tab. č. 3 až 6). Z těchto dat byl pomocí softwaru Matlab (www.mathworks.com) vytvořen krabicový graf. Na vodorovné ose jsou uvedeny pH lázně (tj. po řadě 8, 9, 10 a 11,8) a

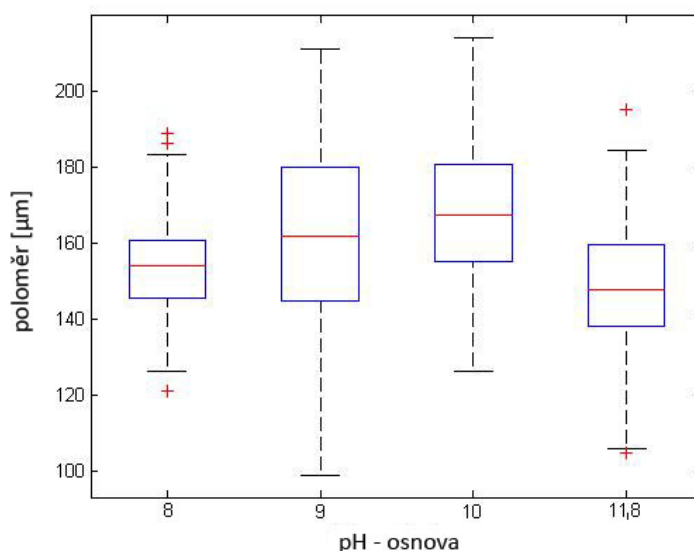
na svislé ose měřená veličina. Na základě krabicového grafu lze mezi sebou porovnávat minimální a maximální naměřenou hodnotu, dolní a horní kvartil a medián.

Graf 2 znázorňuje poloměr osnovy [μm], graf 3 hloubku probarvení [μm] a graf 4 procento probarvení [%] jako funkce pH. Z výsledků lze stanovit následující závěry.

V grafu 2 – poloměr příze jsou uvedeny příslušné poloměry. Neumíme si vysvětlit, proč při pH 11,8 je výrazně menší poloměr příze než při barvení v lázních o ostatních pH. Statistický test shodnosti středních hodnot by bylo možné provést pomocí statistické metody analýzy rozptylu ANOVA. Z výsledků poloměru příze lze určit následující hodnoty:

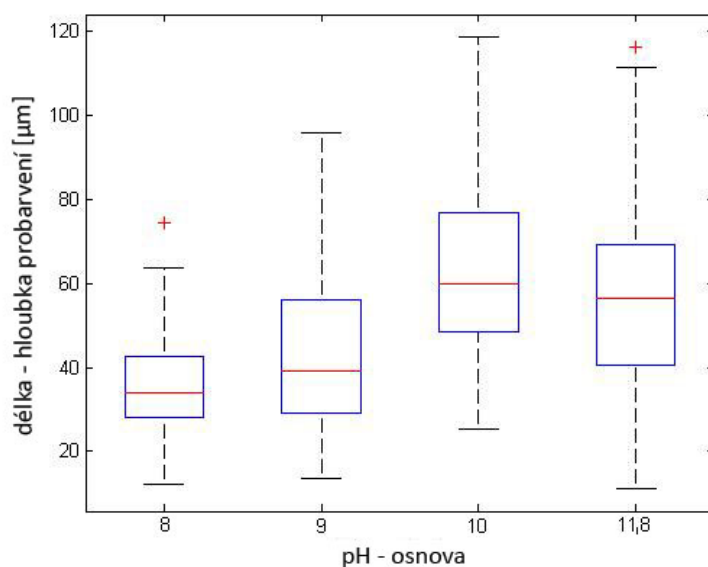
- minimální naměřená hodnota při jakémkoli pH byla 100 μm ,
- maximální naměřená hodnota byla skoro 220 μm ,
- medián se pohybuje v průměru kolem 160 μm .

Graf č. 2: poloměr příze - osnovy pro jednotlivá pH.



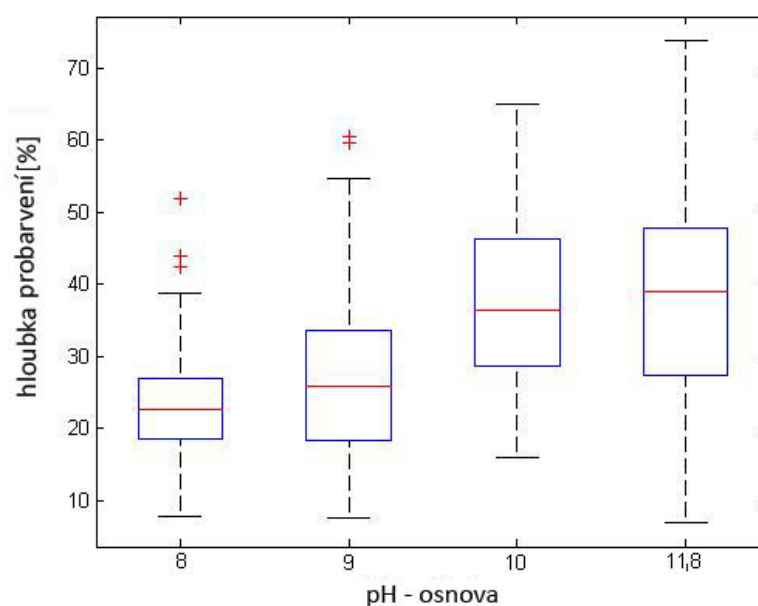
Z grafu 3 lze vyvodit následující závěry. Největší hloubka probarvení je při pH 10, kdy mediánová hodnota probarvení dosahuje 60 μm . Při snížení/výrazném zvýšení pH se již mediánová hodnota probarvení snižuje/zvyšuje: pH 8 – 35 μm , pH 9 – 40 μm a pH 11,8 – 55 μm (možné způsobení menším poloměrem). Obdobné výsledky jsou i při zkoumání dolního, horního kvartilu a samozřejmě při minimální a maximální naměřené hodnotě probarvení.

Graf č. 3: hloubka probarvení příze - osnovy pro jednotlivá pH.



Graf 4 obsahuje procentuelní probarvení osnovy při odlišných pH. Výsledky o probarvení jsou obdobné jako u grafu 3. Největší obarvení je pro mediánovou hodnotu při pH 10 a 11,8 přibližně 40 %. Zatímco u pH 8 dosahuje pouze 23 % a u pH 9 asi 28 %. Údaje o minimální, maximální, dolní kvartilové a horní kvartilové hodnotě lze vyčíst z příslušného grafu.

Graf č. 4: hloubka probarvení v % - osnovy pro jednotlivá pH.



8.3.4 Vyhodnocení probarvení útku

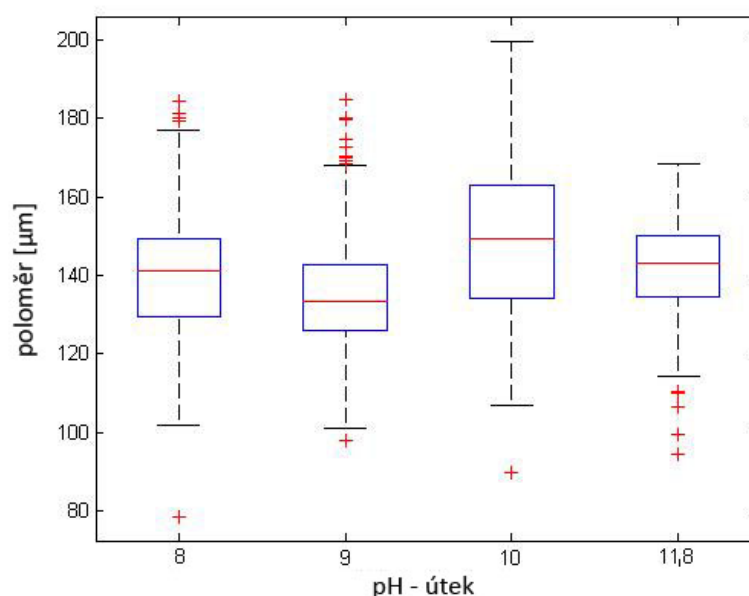
Celkově bylo zjištěno 160 údajů pro jednotlivá pH, které jsou uvedeny v příloze (tab. č. 7 až 10). Z těchto dat byly pomocí softwaru Matlab vytvořeny krabicové grafy. Na vodorovné ose jsou uvedeny pH lázně (tj. po řadě 8, 9, 10 a 11,8) a na svislé ose měřená veličina. Na základě krabicového grafu lze mezi sebou porovnávat minimální a maximální naměřenou hodnotu, dolní a horní kvartil a medián jako funkce pH.

Graf 5 znázorňuje poloměr útku příze, graf 6 hloubku probarvení [μm] a graf 7 procento probarvení [%] jako funkce pH. Z výsledků lze stanovit následující závěry.

V grafu 5 – poloměr příze útku, jsou uvedeny příslušné naměřené poloměry v μm . Z výsledků poloměru příze lze určit následující hodnoty:

- minimální naměřená hodnota při jakémkoli pH byla 100 μm ,
- maximální naměřená hodnota byla skoro 200 μm ,
- medián se pohybuje v průměru kolem 140 μm .

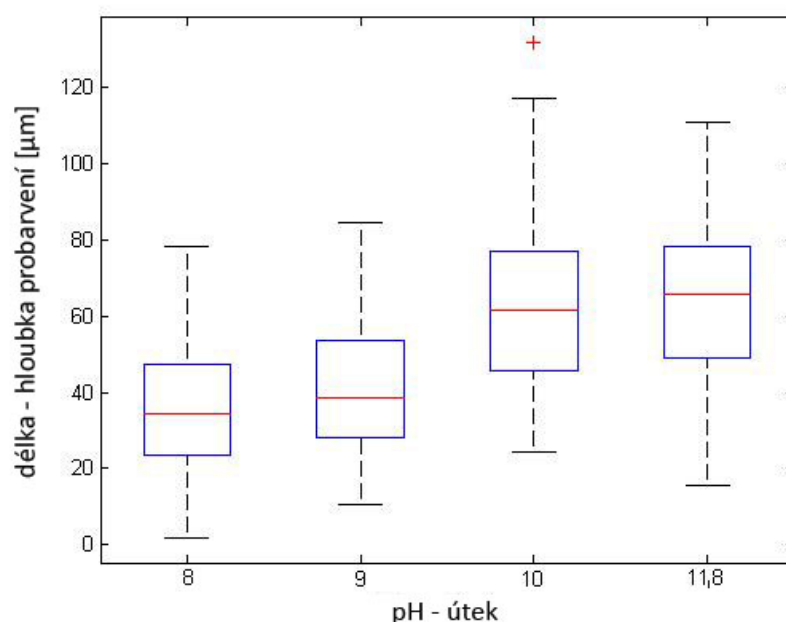
Graf č. 5: poloměr příze - útku pro jednotlivá pH.



Z grafu 6 lze vyvodit následující závěry. Největší hloubka probarvení je při pH 11,8, kdy mediánová hodnota probarvení dosahuje 65 μm . Při výrazném snížení/zvýšení pH se již mediánová hodnota probarvení snižuje/zvyšuje: pH 8 – 35 μm , pH 9 – 40 μm a

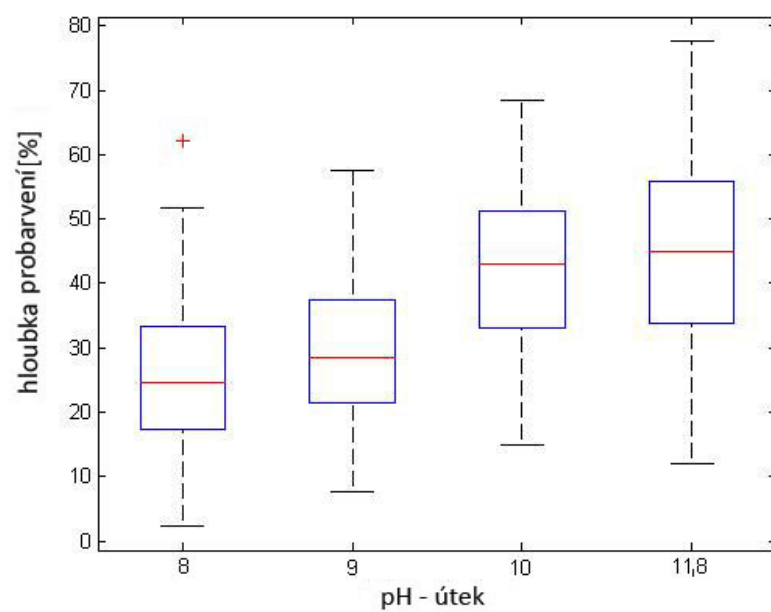
pH 10 – 60 μm . Obdobné výsledky jsou i při zkoumání dolního, horního kvartilu naměřené hodnotě probarvení.

Graf č. 6: hloubka probarvení příze - útku pro jednotlivá pH.



Graf 7 obsahuje procentuelní probarvení osnovy při odlišných pH. Výsledky o probarvení jsou obdobné jako u grafu 6. Největší probarvení je pro mediánovou hodnotu při pH 10 a 11,8 přibližně 45 %. Zatímco u pH 8 dosahuje pouze 25 % a u pH 9 asi 28 %. Údaje o minimální, maximální, dolní kvartilové a horní kvartilové hodnotě lze vyčíst z příslušného grafu.

Graf č. 7: hloubka probarvení v % - útku pro jednotlivá pH.



9 OZAŘOVÁNÍ VZORKŮ LASEREM

Na ozařování obarvených vzorků byl použit plynový laser – CO₂ laser pracující v pulzním režimu. Jedná se o zařízení značky Marcatex firmy Easy Laser. Marcatex systém je určený pro průmyslové aplikace jako je řezání, rytí, svařování a značení. Jedná se o kompaktní systém se všemi integrovanými prvky v jedné ovládací skříni.



Obr. č. 20: Laserový stroj Marcatex 150 Flexi.

Tento přístroj vyzařuje laserový paprsek o vlnové délce 10,6 μm , jež je vlnová délka pro lidské oko neviditelná, která spadá do infračervené oblasti elektromagnetického spektra. Při zaostření je paprsek dostatečně silný, aby řezal materiál, ale je potenciálně nebezpečný i bez zaostření. Záření laseru CO₂ je ihned absorbováno prvním materiálem, se kterým přijde do styku. Vliv laserového paprsku na textil je teplotní. Výhodou této metody je velmi krátký čas pro designování, není třeba žádných mokřích procesů a přídatných barevných prostředků.

9.1 Definice použitého zařízení

Model: FLEXI MARCATEX 150

Průměrný výkon: 150 W

Špičkový výkon: 230 W

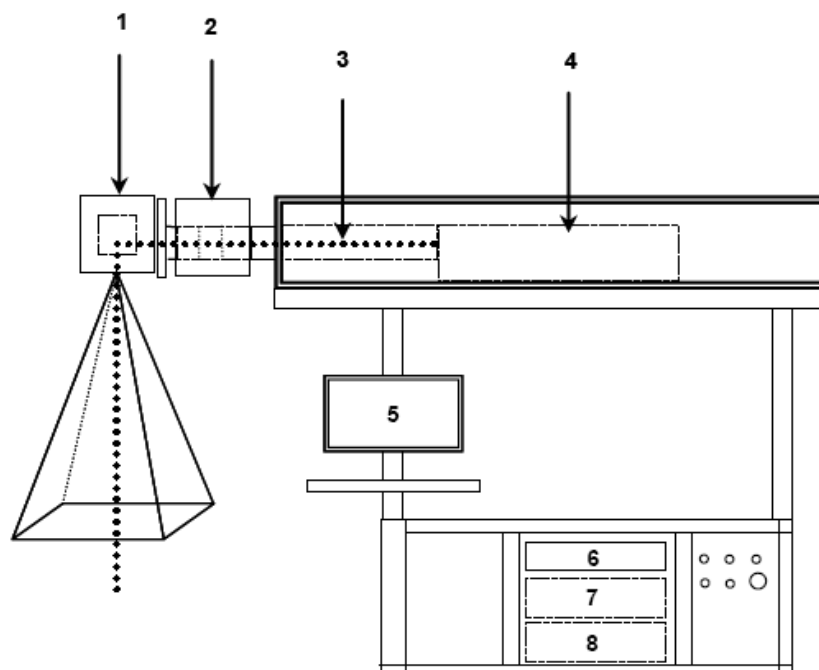
Maximální plocha značení: 80 x 80 cm

Paprsek vlnové délky: 10,6 μm

Pracovní kmitočet: 50/60 Hz

Polarizace: lineární

Odbarvování textilií působením laserového záření



Obr. č. 21: Schématické znázornění CO₂ laseru Marcatex 150 Flexi.

Laserový optický resonátor (1) je místo, kde se generuje laserové záření, je spojen s optickou trubicí (2), která stimuluje paprsek o ideálních, optimálních vlastnostech, kterých chceme docílit. Všechny optické systémy zařízení jsou umístěny v optické skříni (3). Značící hlava (4) je prvek, který moduluje laserový paprsek, aby byl v požadovaném výstupu s kreslícím programem. Přístroj má připojený počítač – PC jednotka (5), která provádí celkovou kontrolu značení. PC modul (6), dc zdroj (7) a rf zdroj (8) jsou umístěny ve střední části ovládací skříně.

9.2 Parametry zařízení Marcatex 150 Flexi

9.2.1 Technické parametry

- Napájení: 220V ca ± 10% jednofázové
- Vstupní napětí: 200 – 240V ca ± 10% jednofázové
- Spotřeba: Zapnutý laser: 2.3 KW, 8.7A noc
- Kmitočet impulsů: až do 10 kHz
- Energie impulsů: 5 – 230 mJ
- Čas aktivace/deaktivace impulsů: <45μs
- Parametry laserového paprsku: M (K): <1,2(>0.8)

- Rozbíhavost paprsku: <2.5 mrad (celý úhel)
- Stabilita směru paprsku: <200 mrad (poloviční úhel)
- Průměr svazku (1/e): 7.5 ± 0.5 mm (pro normální úpravu svazku)

9.2.2 Parametry počítače

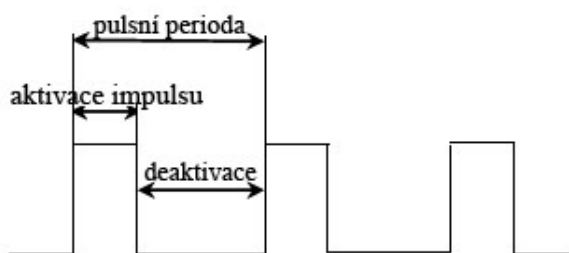
- Kompatibilní s PC Pentium
- Digitální spojení
- Stabilizované napájení 300 W
- Sběrnice PCI
- Jednotka pevného disku 40 Gb
- Jednotka pro čtení a vypalování CD
- Plochá obrazovka 15“ TFT
- Rozhraní Windows XP
- Možnost připojení do lokální sítě

9.2.3 Software programu

- Grafické rozhraní Windows XP sestavené pro práci s grafickými a textovými editory
- Kompatibilní s formáty BMP, JPG a DXF
- 256 stupňů šedi
- Externí digitální volba
- Možnost propojení s jinými systémy

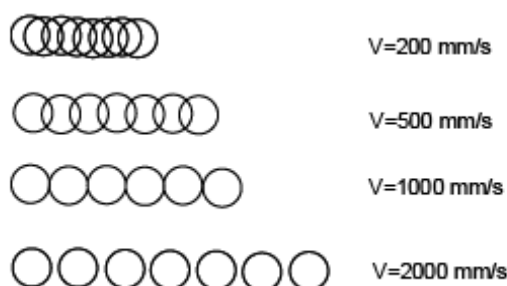
9.3 Výkonné parametry pro značení

Parametry zrychlené volby (bits/ms) a pracovní cyklus (%) mají vliv na proces značení. Tyto parametry mohou být měněny s cílem urychlit proces značení, zvýšit kontrast nebo nastavit hloubku označení daného materiálu. Pracovní cyklus je specifický parametr laserového pulsu, týká se použité energie a představuje poměr mezi dobou laserové aktivace a deaktivace v čase s maximální hodnotou 50%.

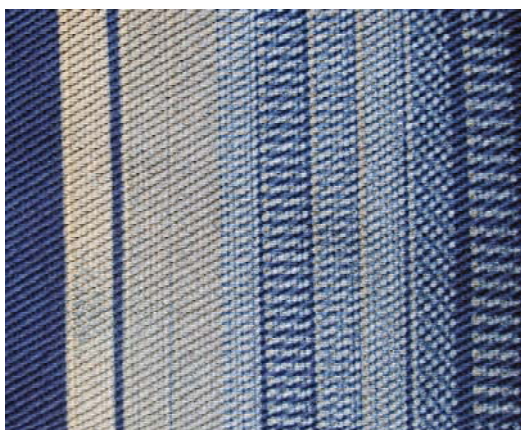


Obr. č. 22: Schématické znázornění operačního cyklu laserového záření.

Pokud budeme měnit pracovní cyklus, budeme měnit čas aktivace a deaktivace světla, vyzářená energie působící na povrch bude menší a spotřeba energie také menší. Nízké frekvenci se rovná krátký puls, ale špičkový výkon, což znamená, že v krátké době působíme vysokou energií na povrch materiálu. Pokud bychom zvolili zrychlenou volbu příliš vysokou v poměru k pulsní frekvenci, body budou příliš vzdálené, a tudíž není možné získat solidní řádku ($v = 2000 \text{ mm/s}$). Ale naopak, pokud je rychlost příliš nízká, budou se body překrývat moc ($v = 200 \text{ mm/s}$), což není také žádoucí. Proto je v praxi nutné vytvořit mírný přesah bodů.



Obr. č. 23: Schématické znázornění vlivu rychlosti na odbarvení textilie.



Obr. č. 24: Reálné znázornění vlivu rychlosti na odbarvení textilie.

9.4 Ozařování obarvených vzorků

Vybrané vzorky byly ozářeny CO₂ laserovým paprskem změnou parametrů původního označení zařízení. Označená plocha vzorků byla 7,5 x 2,3 cm.

Původní nastavení:

- D = 50
- F = 5
- MS = 100

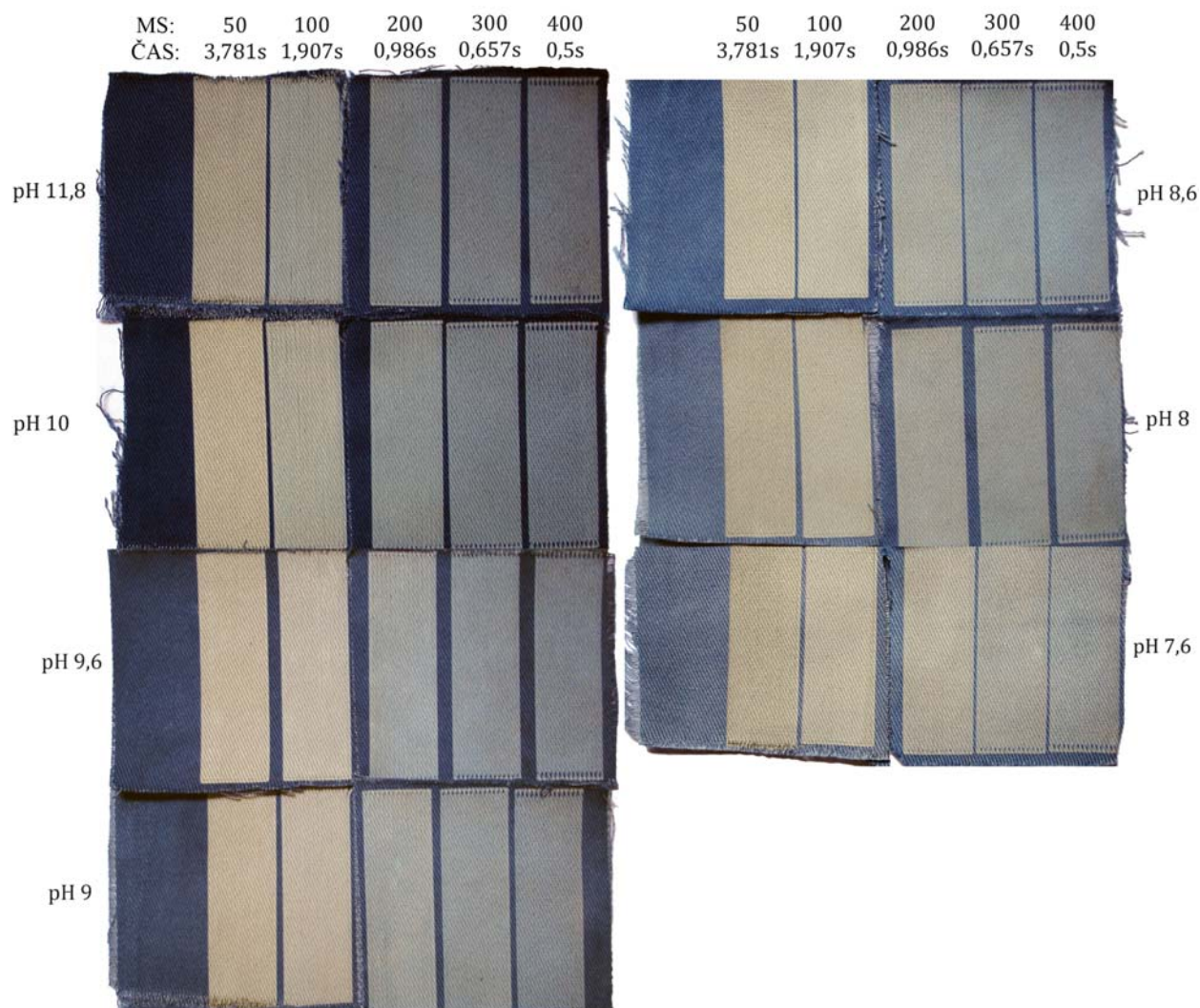
Kde D...DUTY CYCLE (%) představuje pracovní cyklus laseru, F...FREQUENCY (kHz) frekvenci a MS...MARK SPEED (bits/ms) rychlé volby. Nastavení všech původních parametrů zůstalo stejné, měnili jsme hodnotu MARK SPEED, jež vedlo ke změnám modifikace povrchu a barevným změnám.

Tab. č. 2: Tabulka nastavených hodnot při ozařování.

DUTY CYCLE [%]	50
FREQUENCY [kHz]	5
MARK SPEED [bits/ms]	50, 100, 200, 300, 400
JUMP DELAY [bits/ms]	1000
MARK DELAY [μ s]	200
JUMP DELAY [μ s]	500
POLYGON DELAY [μ s]	100
LASER ON DELAY [μ s]	0
LASER OFF DELAY [μ s]	0



Obr. č. 25: Výsledné ozářené vzorky.



Obr. č. 26: Ozářené vzorky s nastavenými hodnotami ozařování.

Již na první pohled je vidět, jak při kontaktu s laserovým paprskem dochází k výrazným změnám barevnosti a jež je učiněno jen v jednom jediném kroku. Není potřeba žádných mokrých procesů a pracích odíracích elementů, které se používají pro změnu barevnosti dnes tak moderního žádaného „obnošeného“ vzhledu džín. Což je velkou výhodou ve využití laserového záření v designování denimových výrobků.

Je vidět, že při použití MS 50 a 100 [bits/ms] už dochází k zažloutnutí materiálu. V místě ozáření se zdá, že na omak se tkanina jeví drsnějším povrchem, že došlo k ztvrdnutí povrchu – zrohovatění povrchu textilie. Jež je asi pravděpodobně důsledkem rychlého, prudkého vysušení laserovým paprskem.

Mezi vlastnosti bavlněných vláken patří, že při teplotě 150 °C dochází ke hnědnutí vláken, do 120 °C nedochází k žádným změnám, ale jakmile vystavíme bavlnu

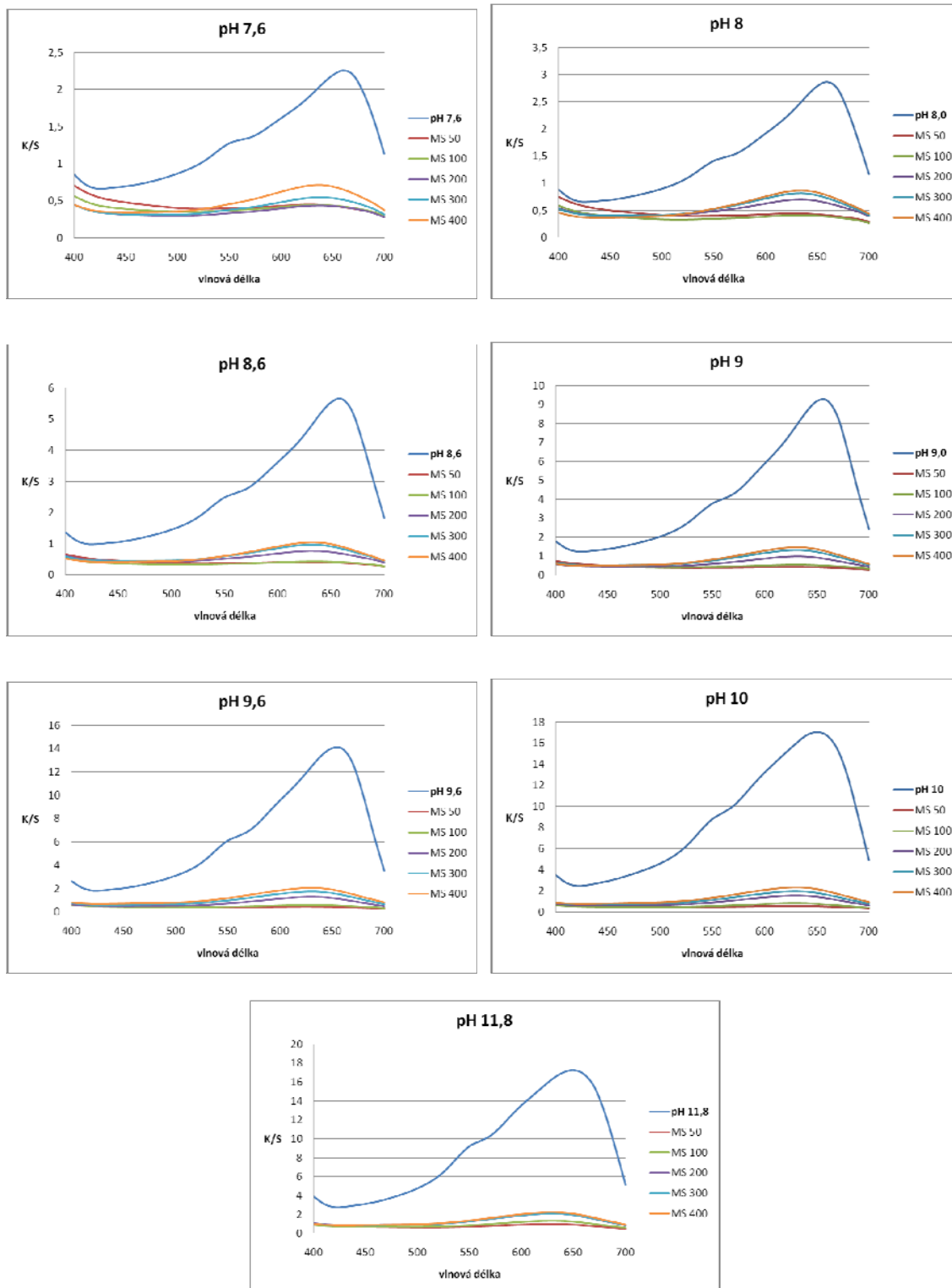
120 °C po dobu 5 hod, vlákno má tendenci žloutnout. Při teplotách 200 – 280 °C vznikají destrukce materiálu.

Použitý laser CO₂ poskytuje infračervené záření, vliv laseru na textilií je tedy teplotní. Působí na materiál intenzivním místním teplem, vytvářejícím teplem afektovanou zónu okrajového tepelného poškození. Ale vyvinutí pulzního laserového rezonátoru umožnilo zpracování i choulostivějších organických materiálů, aniž by docházelo k nepříjemným vzhledovým tepelným účinkům. Protože pulzní resonátor je schopen velmi rychlého růstu a pádu v čase, tedy působení teplotního vlivu je velice rychlé a krátké, tudíž by nemělo docházet k poškození materiálu. Avšak dosáhnout denaturace barviva bez poškození bavlněného materiálu je mnohem obtížnější než by se mohlo zdát. Proto jsme se na ozářené vzorky dále podívali pomocí rastrovací elektronové mikroskopie.

10 MĚŘENÍ BAREVNOSTI OZÁŘENÝCH VZORKŮ

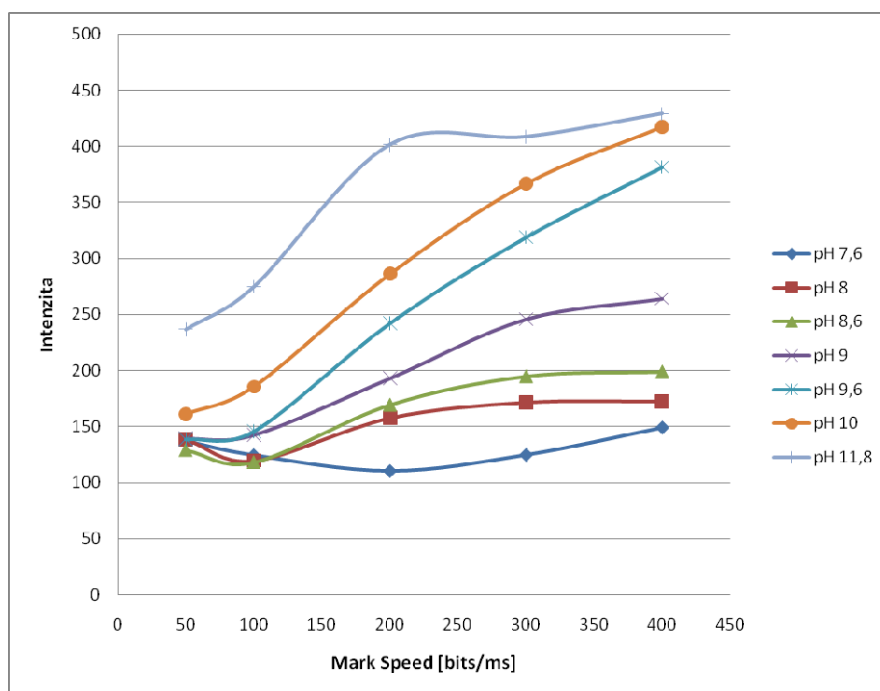
Po ozáření vzorků na laserovém stroji Marcatex Flexi 150 probíhalo měření barevnosti opět na přístroji Datacolor SF600, kde jsme změřili remisní křivky a z nich na základě Kubelka – Munkovy rovnice vypočítaly hodnoty K/S.

Grafy č. 8: Vliv jednotlivého pH a MS (Mark Speed [bits/ms]) na K/S hodnoty.



Z grafů je zřejmé, že při ozáření bavlněných tkanin došlo k výraznému posunu barevnosti. Barevnostní projev (K/S hodnoty) jsou pro jednotlivá pH a jednotlivé hodnoty MS téměř totožné. Došlo k zásadní změně barevnosti, posunu z modrého odstínu k bílým až nažloutlým nuancím, jež je zřetelné i při vizuální kontrole. Se snižováním MS se snižuje i barevnostní projev (K/S hodnoty) ozářené textilie, načež barevnostní projevy při hodnotách MS 50 a 100 jsou téměř totožné u všech vzorků, stejně jako u hodnot MS 300 a 400.

Graf č. 9: vliv intenzity laserového záření na odbarvování textile.



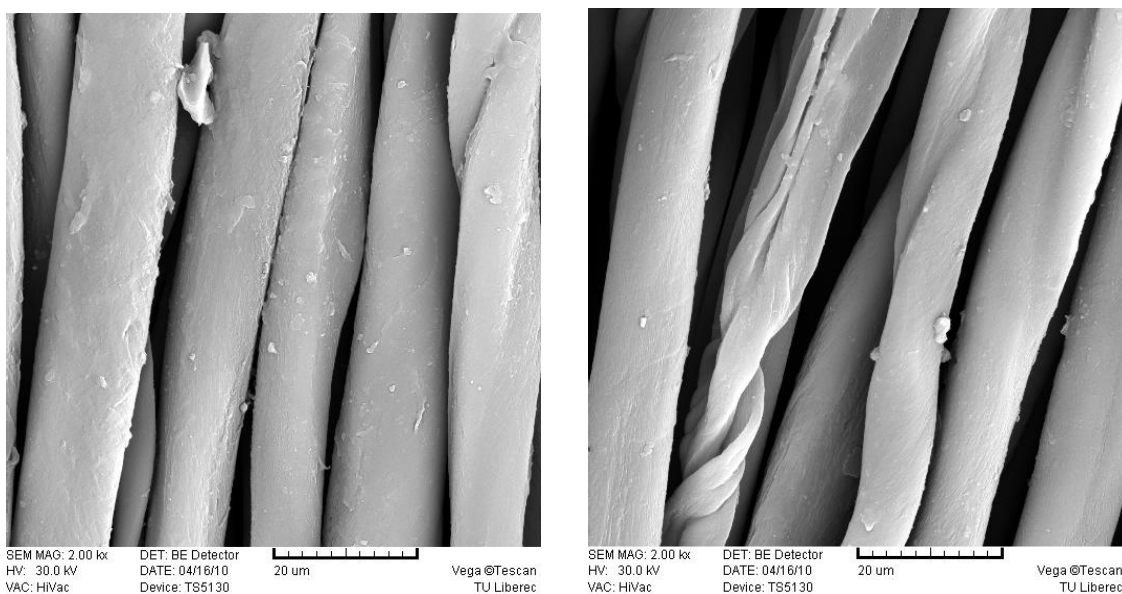
$$\text{Intenzita vybarvení} \dots I = \sum_{\lambda=395}^{765} \frac{K}{S} \cdot \Delta\lambda$$

Z grafu 9 je zřejmé, že u nižších hodnot pH (světlejší odstíny) dochází již při nízkých intenzitách laserového záření k odbourávání barviva – změně barevného odstínu. Kdežto u vyšších hodnot pH (9 – 11,8) musíme působit vyšší intenzitou laserového paprsku. U nižších hodnot pH (7 – 8,6) můžeme křivku považovat za téměř konstantní.

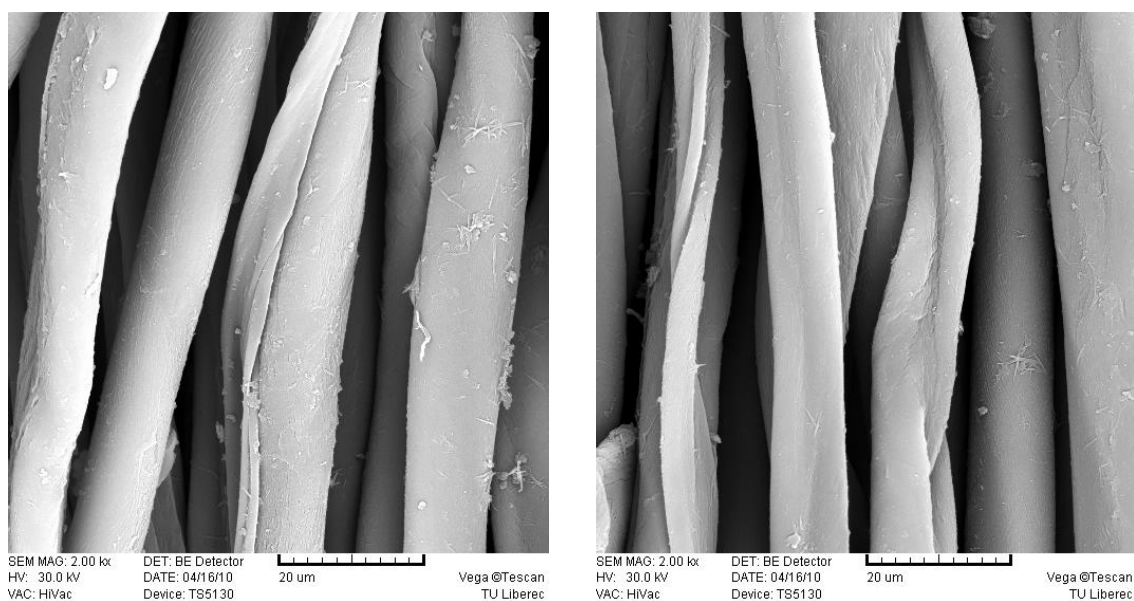
11 OBRAZOVÁ ANALÝZA

Pomocí rastrovací elektronové mikroskopie (SEM – scanning elektron microscope) - rastrovacího elektronového mikroskopu Tescan VEGA jsme se podívali na povrchovou strukturu jak neobarvené, obarvené tak ozářené tkaniny různými intenzitami laserového záření, abychom se podívali, co se stalo s povrchem bavlněné textilie po ozáření.

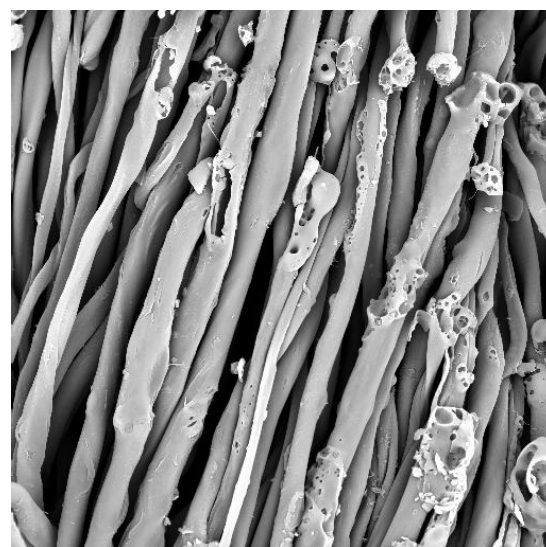
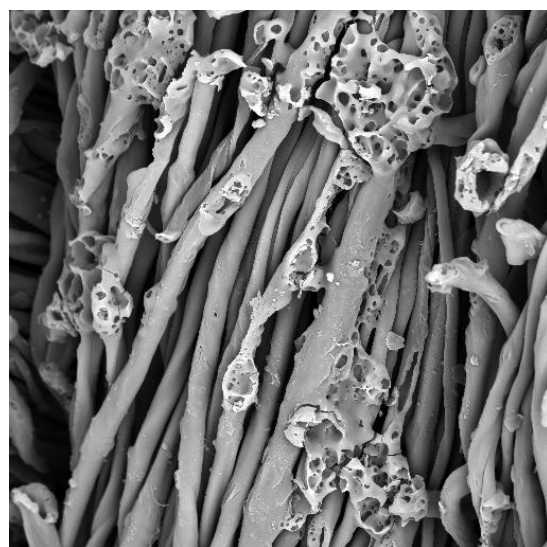
SEM patří mezi jedny z nejmodernějších technologií, které se používají ke zkoumání povrchu textilií a v oborech, jež se zabývají textilními strukturami.



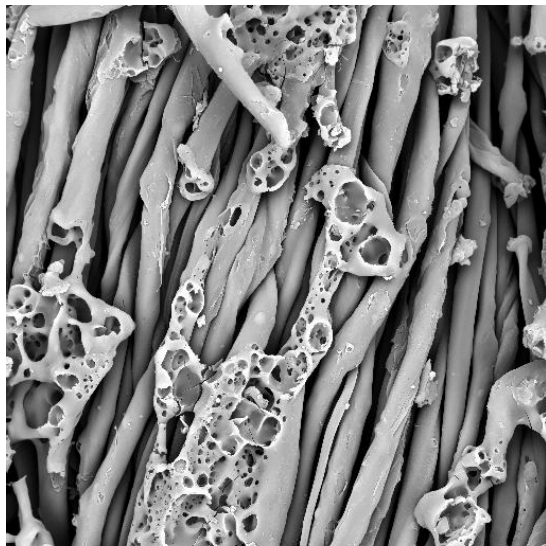
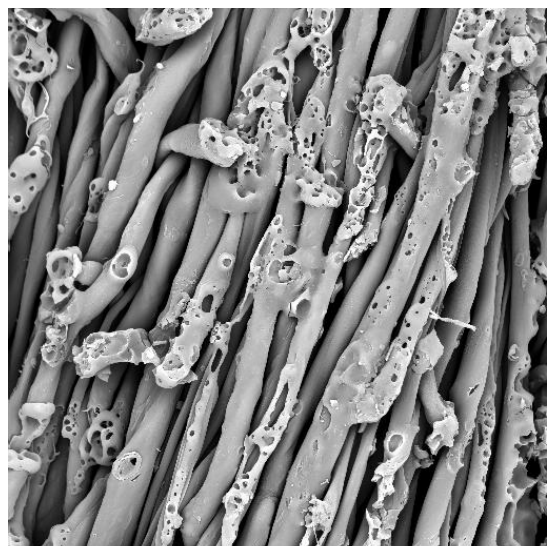
Obr. č. 27: Původní neobarvená (bílá) tkanina.



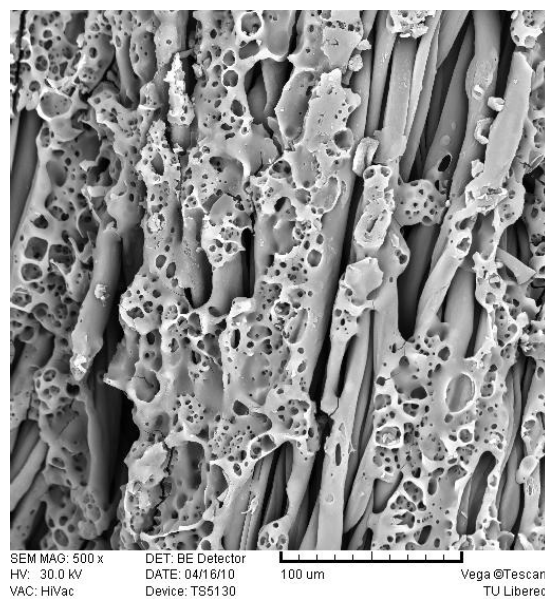
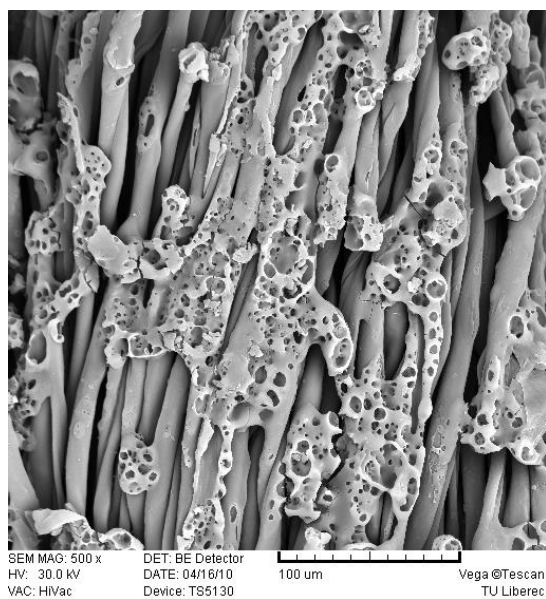
Obr. č. 28: Obarvená tkanina indigem (pH 10).



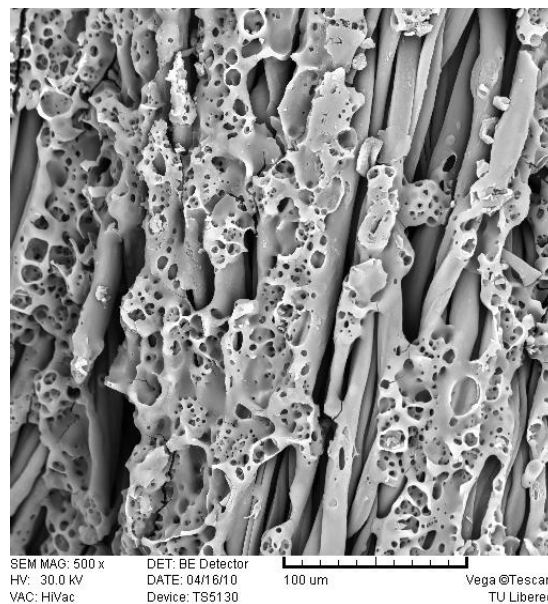
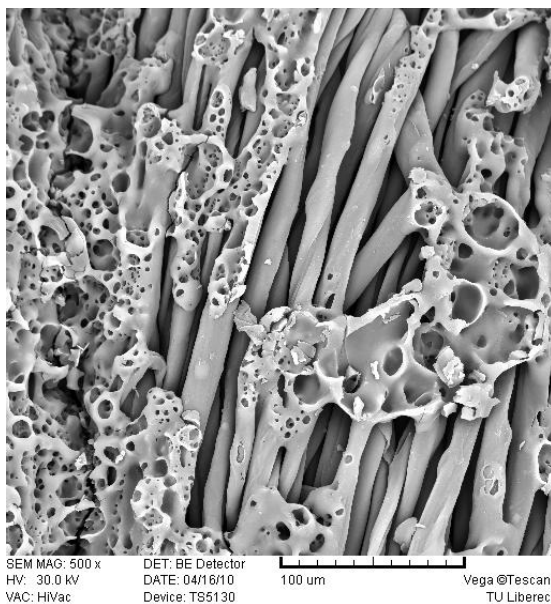
Obr. č. 29: Obarvená (pH10) – ozářená tkanina (MS 400).



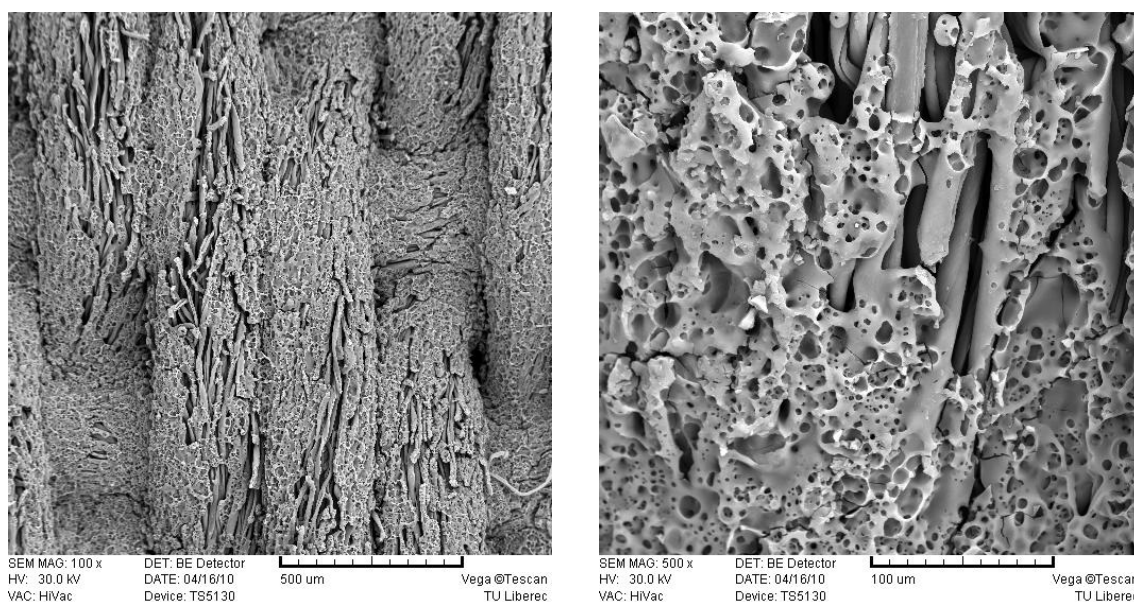
Obr. č. 30: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 300).



Obr. č. 31: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 200).



Obr. č. 32: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 100).



Obr. č. 33: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 50).

Z obrázků získaných pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu je zřejmé, že působením laserového IČ záření dochází nejen k degradaci barviva, ale i k degradaci celulózového materiálu, čímž dochází i ke ztrátám původní pevnosti.

Degradace materiálu je povrchová, jsou zasažena povrchová vlákna, vzniká tavenina z hmoty celulózy. Přičemž k nejmenšímu vlivu laserového záření dochází při hodnotě mark speed 400 bits/ms. Při hodnotě mark speed 50 bits/ms již dochází k zásadní výrazné ztrátě původní pevnosti celulózového substrátu.

ZÁVĚR

Definovanými dávkami (čas a intenzita laserového záření) bylo podle předpokladu zjištěno, že relativně nízké dávky laserového záření způsobují poměrně intenzivní degradaci indiga. Tato degradace může nastávat dvěma způsoby, přímou degradací IČ záření laseru a dále nepřímou degradací reaktivních zplodin, které se uvolňují z ozáření celulózy, kdy vznikají pravděpodobně aldehydické silně redukující látky. Není vyloučeno, že část barviva se odpaří resp. odsublimuje.

V práci je dále uveden základní vztah mezi původním vybarvením a jeho změnou po ozáření. Na základě naměřených hodnot pomocí datacoloru je zřejmé, že původní modrý odstín se po ozáření posunuje ke žluté až bílé. V diplomové práci je ukázáno převážně prstencové probarvení bavlněné příze.

Poměrně původní je metoda zjišťování průniku barviva v průniku příze. Pomocí obrazové analýzy - softwarového programu NIS-Elements AR byla ze získaných digitalizovaných obrazů řezů přízí vyhodnocena míra probarvení jednotlivých bavlněných vzorků tkaniny obarvených při odlišných hodnotách pH lázně. Z naměřených dat bylo stanoveno procento probarvení osnovy a útku. Podle předpokladu bylo zjištěno, že s narůstajícím pH lázně indigo probarvuje notně lépe, proniká tedy do větší hloubky příze. Největší hloubky probarvení osnovy i útku bylo dosaženo při hodnotách pH 11,8 a 10. Největší probarvení je tedy pro mediánovou hodnotu při pH 11,8 a 10 přibližně 45 %, zatímco u pH 8 dosahuje pouze kolem 25 %.

Je samozřejmé, že při použitých dávkách IČ záření dochází nejen k degradaci barviva, ale i oxidativní degradaci samotného celulózového substrátu, čili dochází k výrazné ztrátě jeho původní pevnosti. Vzhledem k časovým možnostem této práce nebyl pokles pevnosti dále definován, měřen a studován. Pro příští studii doporučuji, aby degradáty indiga byly podrobně dále studovány např. chromatograficky.

V diplomové práci jsme zjistili, že intenzita odbarvení působením laserového záření je závislá na pH lázně, které bylo aplikováno, přičemž platí, že čím menší hodnota pH, tím je odbourání srovnatelnou intenzitou laserového paprsku větší.

Technologicky je možno výsledků v diplomové práci využít k nahrazení technologie mechanického odírání barviva zahrnující praní v kyselině, pískování aj. Žádná z těchto metod se nevyrovná laserovému designování. Odstraňování barviva z povrchu materiálů je velice přesné, rychlé a stálé. Odstranění barviva vzniká jen

v jednom jediném kroku. Designování - odstraňování barviva pomocí laserového záření se dostává do popředí v konečné úpravě produktů, zvyšujících jeho estetickou hodnotu a tudíž i finanční stránku.

Přednost laseru je v tomto případě kromě ekologického hlediska v tom, že definovaná degradace barviva může být přesněji řízena na požadovaná místa textilie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Publikace:

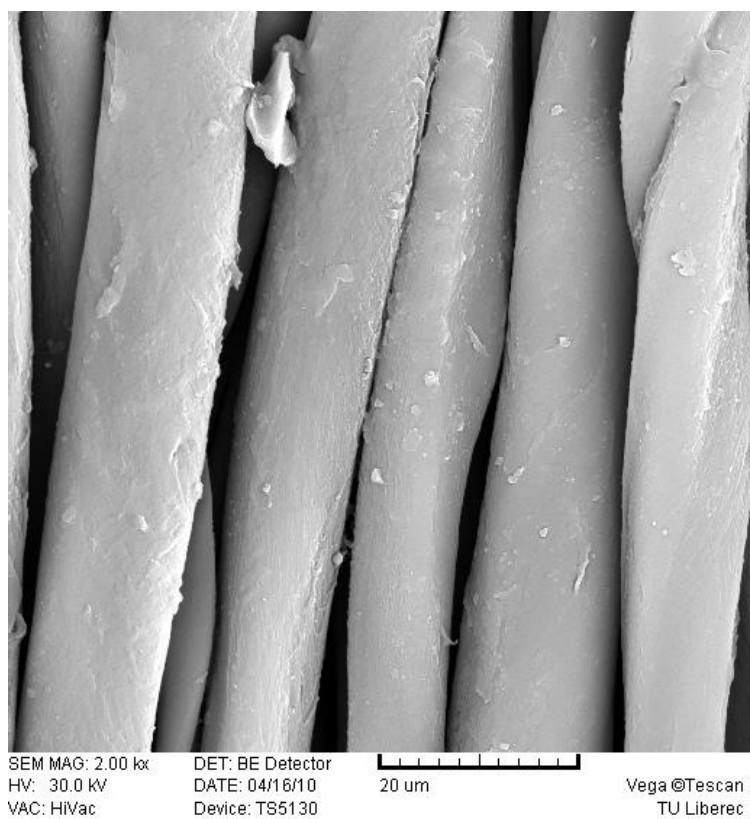
- [1] KRYŠTŮFEK J., WIENER, J.: *Barvení textilií I.* Skriptum TU v Liberci, 2008
- [2] CARREHER CH. E.: *Seymour/Carraher's Polymer chemistry.* CRC Press, 2007
- [3] PETERS R. H.: *Textile chemistry.* Elsevier, 1975
- [4] FELIX V.: *Chemická technologie textilní.* STNL Praha, 1956
- [5] PRIDEAUX V. A: *Handbook of Indigo dyeing.* Search Press Limited, 2003
- [6] BALEKA J.: *Modř barva mezi barvami.* Academia, 1999
- [7] KARPENKO V.: *Barvy z polí i z moře.* VTM, 10/2002
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ: *Příručka pro textilní barvíře a tiskaře.* Rapid, 1976
- [9] *Organická chemie pro biochemiky II., část 17 a 18,* VŠCHT Praha, 2003 (elektr. text) http://www.vscht.cz/lam/uceni/OCHpredn1718_03a.pdf
- [10] VRBOVÁ M., JELÍNKOVÁ H., GAVRILOV P.: *Úvod do laserové techniky.* ČVUT, Praha, 1994
- [11] ENGST P., HORÁK M.: *Aplikace laserů.* SNTL, Praha, 1989
- [12] SEDLÁČEK K.: *Laser v mnoha podobách.* Naše vojsko, Praha, 1982
- [13] STRUMBAN E. J., ŠTOLL, I.: *Lasery a optoelektronika.* Panorama, 1989
- [14] HLADÍK V. A KOL.: *Textilní vlákna.* SNTL, Praha, 1970
- [15] MILITKÝ J.: *Textilní vlákna.* Skriptum TU v Liberci, 2002
- [16] VIK M.: *Základy měření barevnosti, I.díl.* Skriptum TU v Liberci, 1995
- [17] HLADÍK V.: *Základy teorie barvení.* SNTL, Praha, 1968
- [18] KOL. AUTORŮ, KTC TUL: *Zušlechťování textilií.* Skriptum TUL, Liberec 2008
- [19] RUSS J. C.: *The Image Processing Handbook.* CRC Press, 2007
- [20] BRIŠ R., LITSCHMANNOVÁ M.: *Statistika I. pro kombinované a distanční studium.* VŠB-TUO, 2004, (elektr. text) <http://www.am.vsb.cz/~lit40/STA1/statistika-ks.html>

Elektronické informační zdroje:

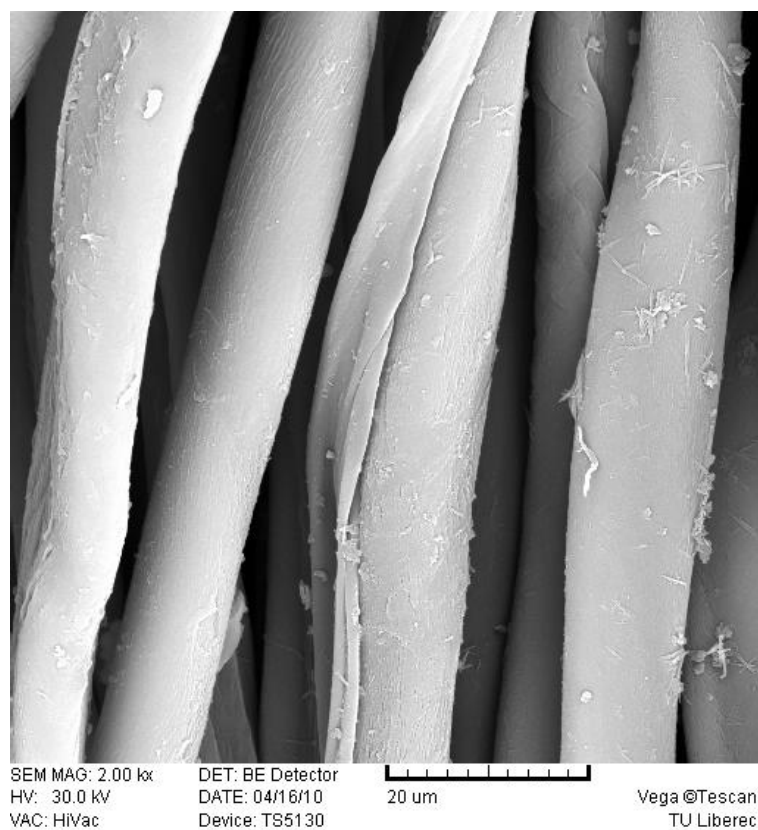
- [21] URL: http://www.fibre crafts.com/resource/fact_file/dyes/indigo.asp
- [22] URL: <http://www.chriscooksey.demon.co.uk/indigo>
- [23] URL: <http://science.howstuffworks.com/laser>
- [24] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Indigo_dye

- [25] URL: <http://firstyear.chem.usyd.edu.au/LabManual/E36.pdf>
- [26] URL: <http://make.pingmag.jp/2008/03/04/aizome/>
- [27] URL: http://fibrecrafts.com/resource/fact_file/dyes/indigo.asp
- [28] URL: <http://www.slovane.cz/view.php?cisloclanku=2009070001>
- [29] URL: <http://laser.zcu.cz/wiki/rozdeleni-laseru>
- [30] URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [31] URL: <http://datacolor.com/index.php?id=>
- [32] URL: <http://www.nis-elements.cz/>
- [33] URL: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>

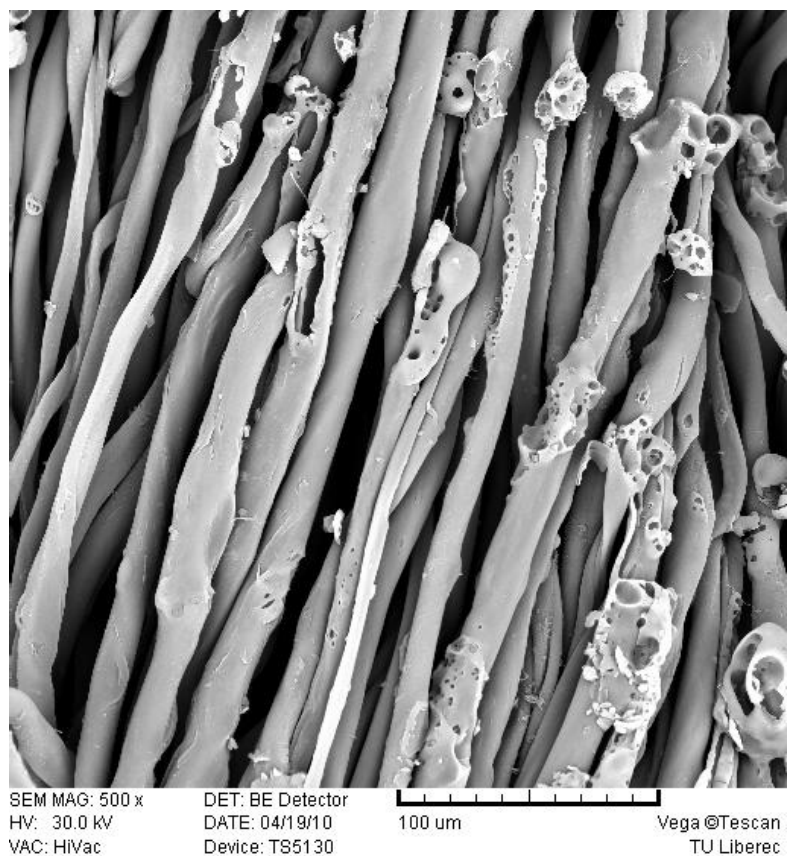
PŘÍLOHY



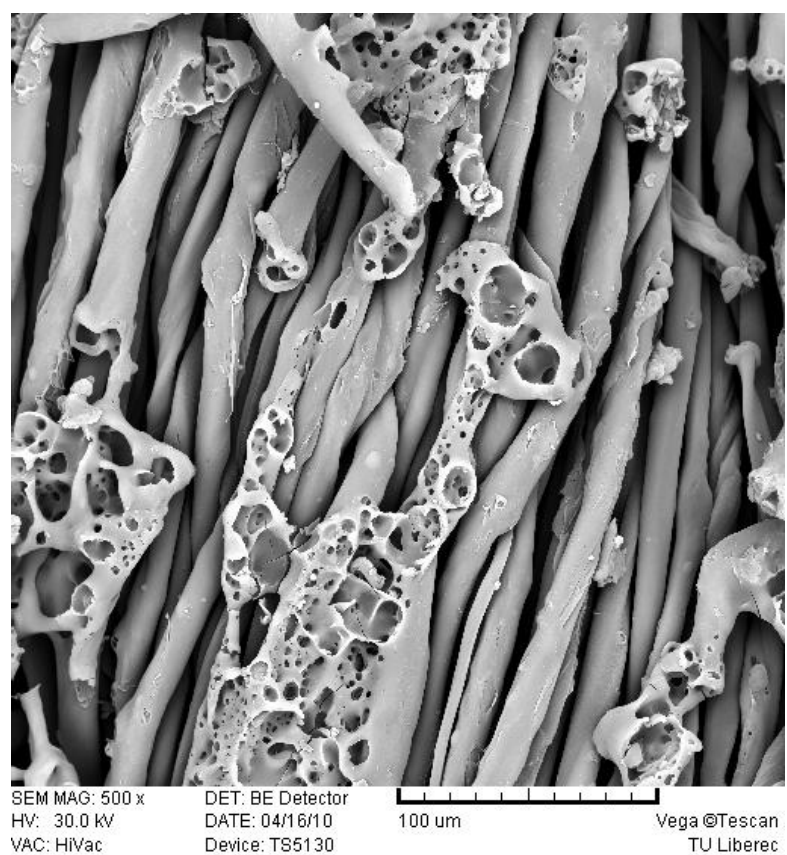
Obr. č. 34: Původní neobarvená (bílá) tkanina.



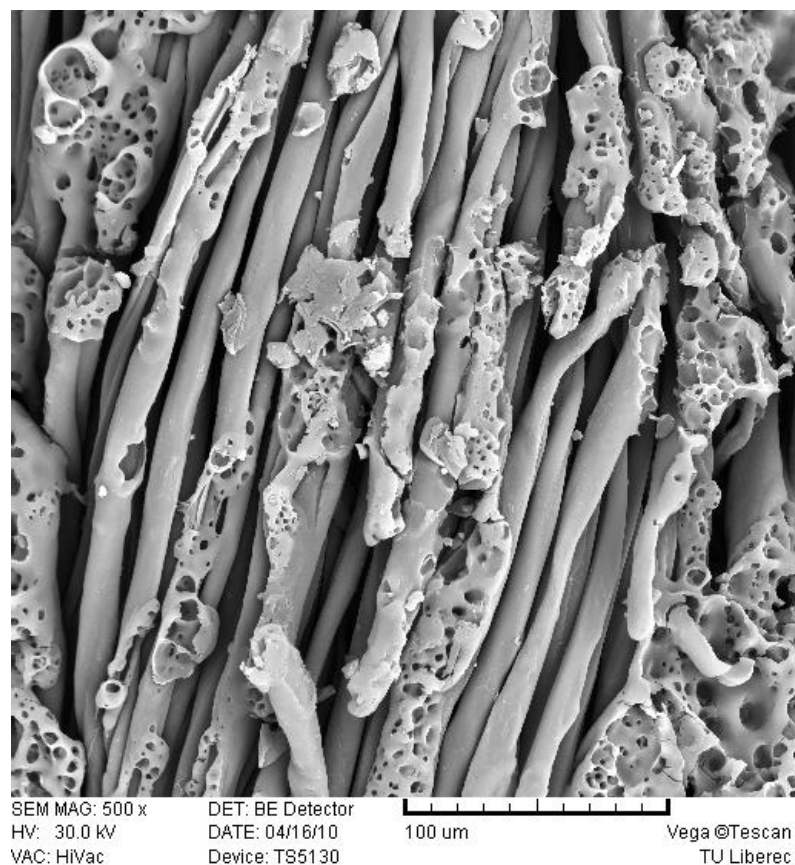
Obr. č. 35: Obarvená tkanina indigem (pH 10).



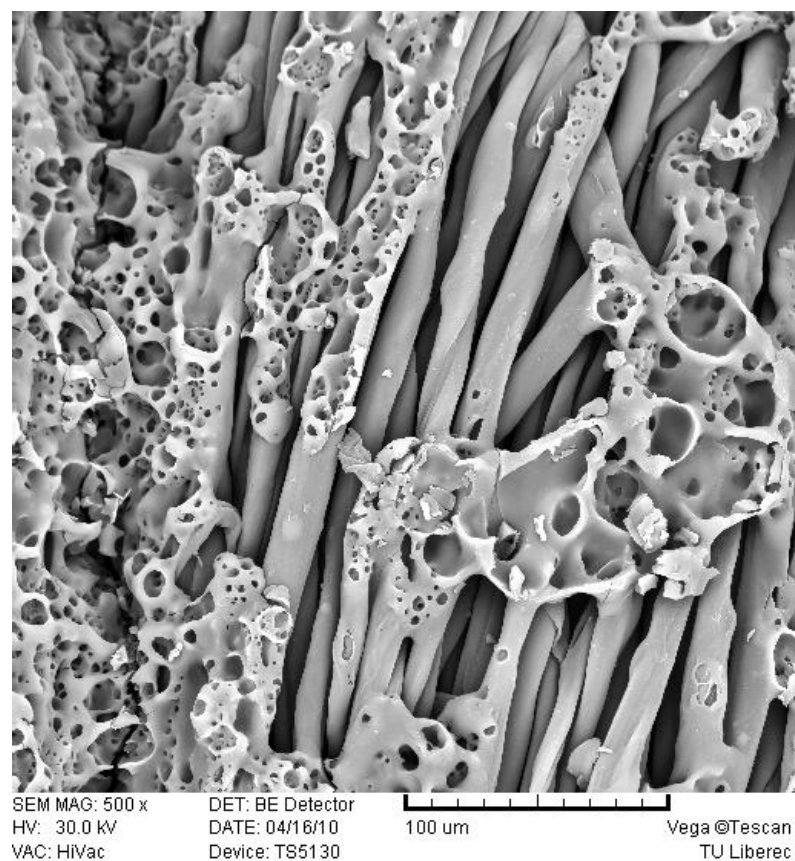
Obr. č. 36: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 400).



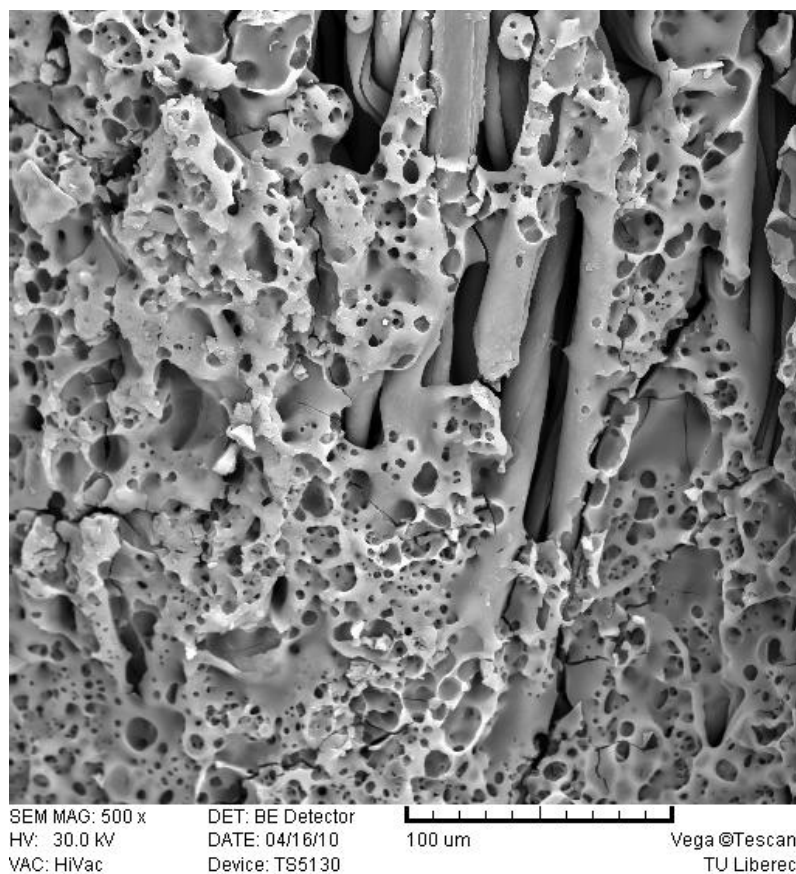
Obr. č. 37: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 300).



Obr. č. 38: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 200).



Obr. č. 39: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 100).



Obr. č. 40: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 50).



Obr. č. 41: Obarvená tkanina indigem (pH 10).



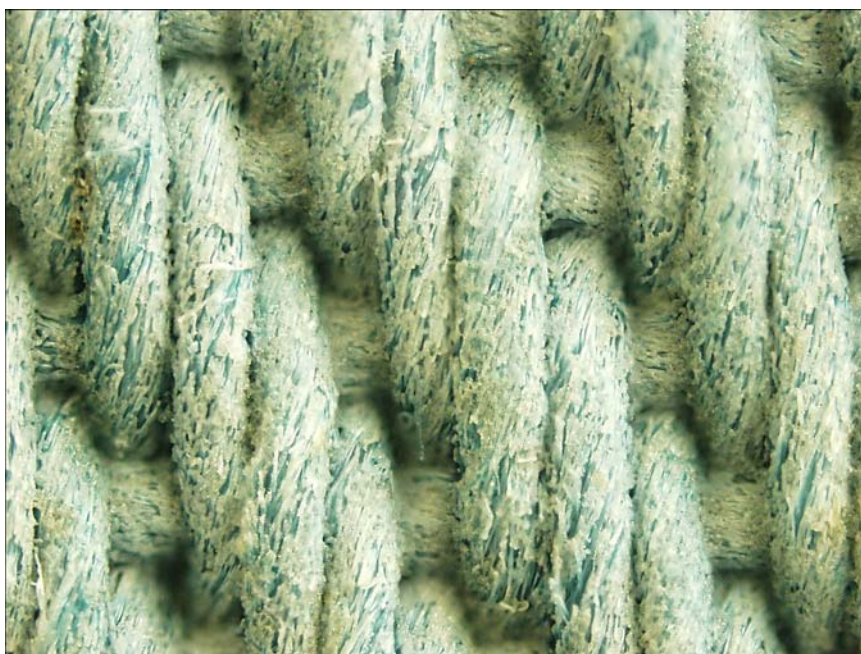
Obr. č. 42: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 400).



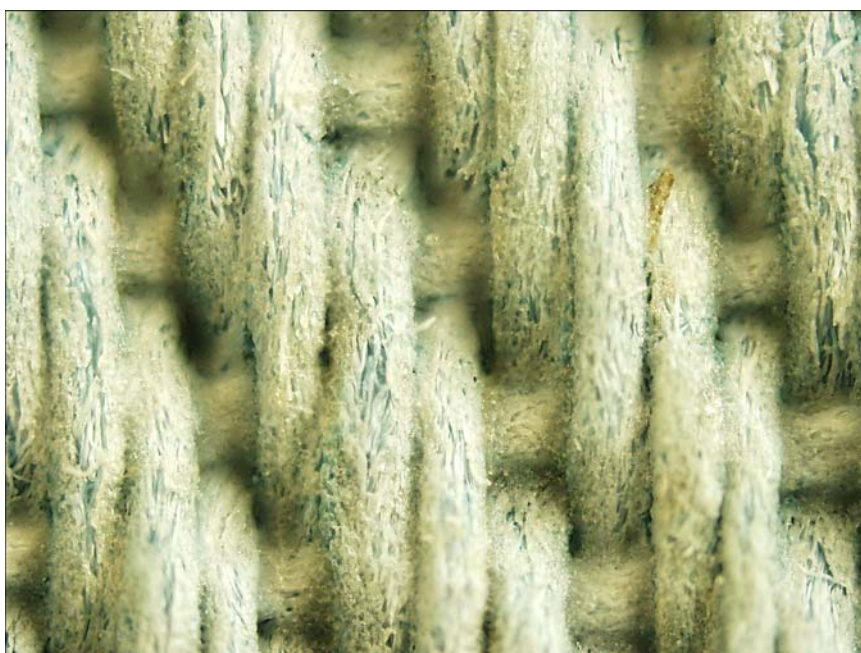
Obr. č. 43: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 300).



Obr. č. 44: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 200).



Obr. č. 45: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 100).



Obr. č. 46: Obarvená (pH 10) – ozářená tkanina (MS 50).

Tab. č. 3: naměřená data v NIS Elements pro pH 8 osnovu.

pH8 os	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob.
1.	135,61	27,89	20,566	54.	141,13	30,55	21,647	107.	173,51	58,65	33,802
2.	139,11	43,42	31,213	55.	149,77	30,97	20,678	108.	159,64	53,91	33,770
3.	151,33	53,40	35,287	56.	157,24	37,60	23,912	109.	150,32	53,13	35,345
4.	169,18	59,38	35,099	57.	149,51	40,50	27,088	110.	146,22	30,89	21,126
5.	157,56	38,85	24,657	58.	145,38	34,21	23,531	111.	164,92	44,59	27,037
6.	159,37	39,20	24,597	59.	143,27	33,93	23,683	112.	167,56	31,89	19,032
7.	144,60	24,36	16,846	60.	145,14	32,84	22,626	113.	174,51	48,83	27,981
8.	132,73	26,28	19,800	61.	146,92	32,52	22,134	114.	165,52	30,97	18,711
9.	143,68	33,73	23,476	62.	155,79	33,00	21,182	115.	157,02	25,67	16,348
10.	141,98	34,85	24,546	63.	155,09	25,75	16,603	116.	145,45	20,31	13,964
11.	153,93	33,72	21,906	64.	152,05	12,99	8,543	117.	157,67	29,37	18,628
12.	161,96	25,60	15,806	65.	152,71	12,03	7,878	118.	163,47	27,91	17,073
13.	175,15	35,18	20,086	66.	147,21	14,05	9,544	119.	163,70	21,99	13,433
14.	160,33	42,89	26,751	67.	150,64	15,88	10,542	120.	160,51	29,84	18,591
15.	156,52	53,38	34,104	68.	140,39	19,87	14,153	121.	142,98	30,67	21,451
16.	157,09	57,18	36,400	69.	142,26	24,32	17,095	122.	154,66	37,55	24,279
17.	163,13	36,05	22,099	70.	171,07	47,05	27,503	123.	153,97	42,77	27,778
18.	154,75	40,05	25,880	71.	176,19	41,56	23,588	124.	152,50	41,07	26,931
19.	154,21	40,17	26,049	72.	172,36	51,84	30,077	125.	144,71	26,35	18,209
20.	157,22	51,73	32,903	73.	151,54	53,10	35,040	126.	154,50	36,66	23,728
21.	165,53	59,25	35,794	74.	126,44	48,87	38,651	127.	161,87	43,37	26,793
22.	167,09	62,27	37,267	75.	137,02	57,99	42,322	128.	156,09	39,14	25,075
23.	153,35	48,83	31,842	76.	141,69	50,54	35,669	129.	145,58	35,86	24,633
24.	143,86	38,03	26,435	77.	161,10	45,49	28,237	130.	137,18	33,13	24,151
25.	149,07	45,21	30,328	78.	159,46	22,61	14,179	131.	146,02	29,94	20,504
26.	161,67	41,98	25,966	79.	162,00	19,52	12,049	132.	157,25	39,15	24,897
27.	165,88	47,13	28,412	80.	177,54	34,99	19,708	133.	158,53	43,63	27,522
28.	152,57	35,96	23,570	81.	158,35	28,47	17,979	134.	144,06	39,14	27,169
29.	153,93	30,55	19,847	82.	133,77	32,99	24,662	135.	145,98	41,54	28,456
30.	153,47	30,17	19,659	83.	129,54	27,35	21,113	136.	149,67	41,18	27,514
31.	161,55	34,15	21,139	84.	136,07	31,98	23,503	137.	154,21	31,98	20,738
32.	161,10	35,62	22,110	85.	154,19	37,55	24,353	138.	156,35	44,13	28,225
33.	150,92	28,11	18,626	86.	136,24	43,38	31,841	139.	138,08	22,61	16,375
34.	147,28	18,38	12,480	87.	143,29	27,92	19,485	140.	148,09	27,12	18,313
35.	165,01	24,21	14,672	88.	152,48	22,93	15,038	141.	155,07	28,51	18,385
36.	181,75	32,10	17,662	89.	151,21	25,52	16,877	142.	153,84	37,16	24,155
37.	188,75	45,22	23,958	90.	149,04	29,93	20,082	143.	149,04	22,61	15,170
38.	154,96	30,17	19,470	91.	144,40	25,52	17,673	144.	153,60	30,74	20,013
39.	136,93	28,94	21,135	92.	146,87	18,16	12,365	145.	155,07	25,97	16,747
40.	140,80	26,80	19,034	93.	148,05	23,26	15,711	146.	157,02	29,28	18,647
41.	140,53	30,55	21,739	94.	152,13	40,32	26,504	147.	159,46	42,17	26,446
42.	154,75	26,55	17,157	95.	143,63	25,19	17,538	148.	147,61	39,95	27,065
43.	161,56	36,28	22,456	96.	143,84	22,03	15,316	149.	146,87	25,93	17,655
44.	154,17	40,50	26,270	97.	150,88	28,24	18,717	150.	160,18	37,78	23,586
45.	150,26	23,83	15,859	98.	160,64	38,48	23,954	151.	175,91	45,22	25,706
46.	159,15	15,45	9,708	99.	158,92	37,68	23,710	152.	166,76	44,92	26,937
47.	162,42	30,67	18,883	100.	138,23	20,34	14,715	153.	145,14	28,11	19,368
48.	161,67	39,39	24,364	101.	141,27	24,39	17,265	154.	143,76	29,53	20,541
49.	130,97	33,49	25,571	102.	150,82	30,58	20,276	155.	145,14	63,78	43,944
50.	121,27	35,76	29,488	103.	171,49	45,05	26,270	156.	155,06	49,96	32,220
51.	143,61	74,60	51,946	104.	172,95	46,90	27,118	157.	162,22	48,20	29,713
52.	151,74	32,29	21,280	105.	164,29	32,15	19,569	158.	176,11	46,29	26,285
53.	157,90	55,82	35,351	106.	155,06	39,75	25,635	159.	183,22	32,98	18,000
								160.	186,32	41,97	22,526

Tab. č. 4: naměřená data v NIS Elements pro pH 9 osnovu.

pH9 os	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob.
1.	197,37	64,49	32,675	54.	151,76	41,10	27,082	107.	144,08	43,58	30,247
2.	148,98	47,66	31,991	55.	159,63	48,20	30,195	108.	149,45	49,95	33,423
3.	118,93	37,28	31,346	56.	166,23	53,23	32,022	109.	159,76	43,97	27,523
4.	99,05	21,52	21,726	57.	184,73	76,97	41,666	110.	168,50	32,53	19,306
5.	113,30	25,71	22,692	58.	169,61	71,33	42,055	111.	193,31	29,55	15,286
6.	136,06	28,10	20,653	59.	166,88	50,30	30,141	112.	188,95	32,53	17,216
7.	182,09	34,83	19,128	60.	185,92	57,45	30,900	113.	211,12	61,58	29,168
8.	189,26	23,87	12,612	61.	176,62	71,82	40,664	114.	188,95	29,55	15,639
9.	162,95	20,04	12,298	62.	169,86	58,52	34,452	115.	171,03	31,65	18,506
10.	130,51	15,05	11,532	63.	157,04	34,22	21,791	116.	153,40	37,43	24,400
11.	123,86	14,19	11,456	64.	162,00	28,31	17,475	117.	148,03	43,99	29,717
12.	136,36	27,52	20,182	65.	190,59	29,33	15,389	118.	147,25	35,52	24,122
13.	135,10	18,31	13,553	66.	175,19	13,48	7,695	119.	148,23	20,22	13,641
14.	143,80	15,01	10,438	67.	163,26	28,51	17,463	120.	172,48	27,24	15,793
15.	169,15	25,57	15,117	68.	136,65	16,22	11,870	121.	201,59	36,66	18,185
16.	181,42	17,96	9,900	69.	137,04	23,50	17,148	122.	189,35	45,06	23,797
17.	185,12	58,04	31,353	70.	134,63	29,68	22,046	123.	167,40	42,50	25,388
18.	156,35	57,52	36,789	71.	142,52	26,97	18,924	124.	149,45	51,72	34,607
19.	124,84	40,61	32,530	72.	163,75	24,27	14,821	125.	134,84	56,47	41,879
20.	105,39	34,82	33,039	73.	192,79	33,00	17,117	126.	136,26	56,11	41,179
21.	115,45	36,65	31,745	74.	185,68	38,70	20,842	127.	146,15	55,98	38,303
22.	140,21	43,23	30,832	75.	165,85	76,19	45,939	128.	183,65	72,96	39,728
23.	180,13	38,89	21,590	76.	113,26	56,89	50,230	129.	185,59	36,09	19,446
24.	186,19	27,68	14,867	77.	122,40	74,02	60,474	130.	173,00	61,20	35,376
25.	157,63	25,06	15,898	78.	122,62	72,95	59,493	131.	187,05	78,43	41,930
26.	128,54	23,51	18,290	79.	137,35	75,15	54,714	132.	158,24	67,81	42,853
27.	120,95	21,60	17,859	80.	166,90	88,75	53,176	133.	152,13	58,08	38,178
28.	136,59	35,85	26,246	81.	166,96	28,77	17,232	134.	146,42	46,25	31,587
29.	134,99	29,94	22,179	82.	152,26	25,42	16,695	135.	161,17	64,00	39,710
30.	152,80	27,11	17,742	83.	174,74	65,34	37,393	136.	164,56	42,17	25,626
31.	174,51	37,58	21,535	84.	161,93	57,46	35,484	137.	204,41	95,74	46,837
32.	187,42	21,10	11,258	85.	149,03	54,91	36,845	138.	183,38	67,81	36,978
33.	178,64	28,32	15,853	86.	124,14	37,08	29,870	139.	158,96	36,26	22,811
34.	195,90	30,75	15,697	87.	133,75	39,45	29,495	140.	150,40	37,03	24,621
35.	183,02	48,38	26,434	88.	133,89	19,85	14,826	141.	142,20	38,21	26,871
36.	138,21	28,49	20,614	89.	155,19	32,26	20,787	142.	149,24	37,03	24,812
37.	128,99	27,05	20,971	90.	177,04	49,22	27,802	143.	184,83	39,21	21,214
38.	153,66	45,80	29,806	91.	148,55	28,70	19,320	144.	206,02	34,97	16,974
39.	149,74	28,37	18,946	92.	158,70	32,54	20,504	145.	192,79	36,65	19,010
40.	165,07	44,51	26,964	93.	161,23	47,93	29,728	146.	175,59	43,42	24,728
41.	184,30	53,16	28,844	94.	181,93	42,13	23,157	147.	183,47	74,13	40,404
42.	163,52	39,89	24,395	95.	190,77	31,87	16,706	148.	158,59	57,16	36,043
43.	162,99	48,37	29,677	96.	180,76	21,65	11,977	149.	141,44	39,57	27,977
44.	177,79	58,83	33,090	97.	183,26	36,65	19,999	150.	145,34	53,35	36,707
45.	176,49	70,60	40,002	98.	161,72	25,91	16,022	151.	165,33	60,64	36,678
46.	169,78	65,47	38,562	99.	171,03	49,76	29,094	152.	164,43	49,68	30,213
47.	160,83	36,99	22,999	100.	163,32	57,07	34,944	153.	200,86	90,17	44,892
48.	160,78	22,09	13,739	101.	156,83	65,23	41,593	154.	178,46	81,26	45,534
49.	176,67	30,79	17,428	102.	132,32	45,05	34,046	155.	147,71	41,46	28,069
50.	195,77	27,63	14,114	103.	155,48	58,57	37,670	156.	141,95	45,05	31,737
51.	180,88	51,33	28,378	104.	157,49	48,32	30,681	157.	138,51	35,18	25,399
52.	146,46	36,09	24,642	105.	187,66	73,30	39,060	158.	143,71	28,51	19,839
53.	142,17	38,11	26,806	106.	166,74	56,50	33,885	159.	179,84	49,26	27,391
								160.	208,68	38,12	18,267

Tab. č. 5: naměřená data v NIS Elements pro pH 10 osnovu.

pH10 os	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob.
1.	168,58	73,41	43,546	54.	161,87	55,13	34,058	107.	191,00	65,94	34,524
2.	143,10	51,91	36,275	55.	163,71	54,43	33,248	108.	177,11	72,09	40,704
3.	130,74	47,68	36,469	56.	189,02	65,46	34,631	109.	161,00	71,26	44,261
4.	134,95	51,63	38,259	57.	200,39	92,26	46,040	110.	144,76	57,19	39,507
5.	162,60	57,10	35,117	58.	176,75	91,69	51,876	111.	177,92	76,54	43,019
6.	185,61	70,90	38,198	59.	152,48	98,93	64,881	112.	185,59	87,81	47,314
7.	185,34	65,37	35,270	60.	138,52	85,19	61,500	113.	156,87	84,30	53,739
8.	156,03	37,06	23,752	61.	126,44	73,91	58,455	114.	172,88	95,86	55,449
9.	151,18	25,56	16,907	62.	150,08	91,77	61,147	115.	151,86	59,09	38,911
10.	161,88	48,78	30,133	63.	178,83	115,77	64,737	116.	138,41	43,31	31,291
11.	166,12	50,78	30,568	64.	182,34	96,43	52,885	117.	142,91	48,37	33,846
12.	159,88	37,99	23,762	65.	162,74	44,72	27,479	118.	140,21	54,85	39,120
13.	153,91	38,07	24,735	66.	168,38	52,42	31,132	119.	155,48	73,08	47,003
14.	139,88	25,35	18,123	67.	165,85	47,69	28,755	120.	155,06	53,91	34,767
15.	165,73	51,15	30,863	68.	171,77	46,41	27,019	121.	142,21	33,73	23,718
16.	191,08	74,73	39,109	69.	174,42	46,17	26,471	122.	167,30	43,62	26,073
17.	167,74	90,19	53,768	70.	181,70	54,85	30,187	123.	190,20	58,06	30,526
18.	169,36	99,55	58,780	71.	179,32	67,41	37,592	124.	181,59	75,54	41,599
19.	177,43	80,06	45,122	72.	199,28	62,76	31,493	125.	165,62	68,90	41,601
20.	178,24	72,76	40,821	73.	201,59	56,44	27,997	126.	145,22	73,52	50,627
21.	178,56	90,68	50,784	74.	174,12	49,57	28,469	127.	130,09	60,12	46,214
22.	177,47	93,71	52,803	75.	157,04	52,41	33,374	128.	132,06	57,18	43,299
23.	184,61	90,35	48,941	76.	149,17	63,03	42,254	129.	164,78	77,42	46,984
24.	180,64	43,18	23,904	77.	156,83	82,81	52,802	130.	179,91	85,00	47,246
25.	197,5	83,61	42,334	78.	177,47	104,12	58,669	131.	152,41	49,57	32,524
26.	178,98	75,56	42,217	79.	202,12	118,68	58,718	132.	143,80	34,69	24,124
27.	157,82	49,50	31,365	80.	188,39	81,14	43,070	133.	146,50	43,96	30,007
28.	167,17	49,73	29,748	81.	162,32	48,25	29,725	134.	127,66	28,37	22,223
29.	183,30	66,71	36,394	82.	151,81	35,84	23,608	135.	158,33	50,68	32,009
30.	194,94	61,01	31,297	83.	154,95	35,40	22,846	136.	149,89	41,97	28,001
31.	203,26	110,29	54,261	84.	155,18	37,95	24,455	137.	148,56	38,20	25,714
32.	194,17	82,26	42,365	85.	158,27	38,33	24,218	138.	164,07	38,19	23,277
33.	167,74	40,80	24,323	86.	158,51	37,60	23,721	139.	190,14	48,84	25,686
34.	173,81	51,59	29,682	87.	158,78	25,21	15,877	140.	182,36	51,11	28,027
35.	166,99	35,88	21,486	88.	184,29	43,12	23,398	141.	166,38	73,78	44,344
36.	173,20	48,87	28,216	89.	200,65	81,16	40,449	142.	139,13	54,13	38,906
37.	170,39	45,00	26,410	90.	175,92	81,23	46,174	143.	127,26	39,60	31,117
38.	175,04	48,98	27,982	91.	149,53	69,83	46,700	144.	130,18	43,08	33,093
39.	171,62	34,77	20,260	92.	134,58	64,06	47,600	145.	193,53	95,31	49,248
40.	195,80	56,34	28,774	93.	127,16	55,91	43,968	146.	187,31	68,06	36,335
41.	213,93	71,14	33,254	94.	151,75	77,62	51,150	147.	164,29	40,42	24,603
42.	183,60	63,14	34,390	95.	174,08	88,32	50,735	148.	173,80	49,41	28,429
43.	162,99	65,12	39,953	96.	181,78	80,23	44,136	149.	185,41	61,56	33,202
44.	166,96	79,69	47,730	97.	210,27	110,86	52,723	150.	156,38	59,09	37,786
45.	166,03	86,85	52,310	98.	173,67	54,89	31,606	151.	173,62	65,82	37,910
46.	171,25	97,55	56,964	99.	172,34	56,70	32,900	152.	167,30	45,06	26,934
47.	199,35	100,62	50,474	100.	181,04	71,89	39,709	153.	151,74	38,85	25,603
48.	183,20	63,82	34,836	101.	174,20	54,58	31,332	154.	178,74	61,80	34,575
49.	159,46	64,76	40,612	102.	174,00	50,39	28,960	155.	206,79	101,06	48,871
50.	155,23	59,79	38,517	103.	192,24	59,13	30,758	156.	168,90	78,81	46,661
51.	158,11	67,39	42,622	104.	194,58	46,24	23,764	157.	150,96	72,55	48,059
52.	166,99	73,96	44,290	105.	171,56	38,72	22,569	158.	145,62	70,54	48,441
53.	166,15	71,47	43,015	106.	182,33	50,98	27,960	159.	158,59	81,37	51,308
								160.	178,46	90,67	50,807

Tab. č. 6: naměřená data v NIS Elements pro pH 11,8 osnovu.

pH11,8 os	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob.
1.	138,19	45,77	33,121	54.	167,09	88,81	53,151	107.	167,35	33,29	19,8924
2.	146,43	43,63	29,796	55.	149,90	68,25	45,530	108.	150,55	49,85	33,1119
3.	149,16	60,41	40,500	56.	127,74	56,39	44,144	109.	161,24	76,26	47,296
4.	173,91	82,87	47,651	57.	125,25	48,89	39,034	110.	144,32	75,13	52,0579
5.	153,39	71,47	46,594	58.	129,57	56,50	43,606	111.	153,48	103,27	67,2856
6.	154,98	76,80	49,555	59.	124,84	62,20	49,824	112.	116,89	66,34	56,7542
7.	144,85	60,40	41,698	60.	142,81	82,46	57,741	113.	106,05	33,72	31,7963
8.	150,99	56,50	37,420	61.	142,94	75,13	52,561	114.	104,83	38,19	36,4304
9.	171,75	69,31	40,355	62.	130,56	47,41	36,313	115.	109,20	44,60	40,8425
10.	173,46	64,92	37,426	63.	142,55	39,31	27,576	116.	125,46	58,57	46,6842
11.	161,49	52,08	32,250	64.	136,38	37,69	27,636	117.	133,23	53,84	40,4113
12.	159,77	40,96	25,637	65.	136,37	54,46	39,935	118.	142,60	61,34	43,0154
13.	167,33	50,12	29,953	66.	129,94	65,46	50,377	119.	148,04	51,91	35,0648
14.	174,72	60,05	34,369	67.	130,95	65,32	49,882	120.	144,32	42,35	29,3445
15.	158,10	69,96	44,250	68.	129,23	71,47	55,304	121.	137,58	27,19	19,763
16.	127,65	50,60	39,640	69.	133,35	83,24	62,422	122.	138,25	21,16	15,3056
17.	157,02	74,54	47,472	70.	162,57	116,21	71,483	123.	138,05	14,23	10,3079
18.	149,30	76,93	51,527	71.	145,12	85,04	58,600	124.	139,67	29,41	21,0568
19.	134,35	52,27	38,906	72.	127,36	66,43	52,159	125.	127,79	18,50	14,4769
20.	141,67	49,81	35,159	73.	123,30	66,66	54,063	126.	140,89	39,42	27,9793
21.	141,10	57,42	40,695	74.	133,66	54,70	40,925	127.	138,82	48,87	35,2039
22.	137,39	49,01	35,672	75.	125,40	71,21	56,786	128.	130,89	47,67	36,4199
23.	158,10	44,49	28,140	76.	144,71	79,25	54,765	129.	182,12	53,60	29,4311
24.	153,96	55,60	36,113	77.	144,68	68,85	47,588	130.	151,39	23,80	15,721
25.	157,63	48,88	31,009	78.	137,16	54,78	39,939	131.	147,28	30,50	20,7089
26.	163,83	64,67	39,474	79.	141,11	53,01	37,566	132.	155,37	38,36	24,6895
27.	156,38	76,89	49,169	80.	151,87	58,25	38,355	133.	145,11	26,15	18,0208
28.	144,30	67,72	46,930	81.	154,57	51,32	33,202	134.	152,86	32,61	21,3332
29.	146,60	63,52	43,329	82.	146,81	61,85	42,129	135.	171,31	75,79	44,2414
30.	140,21	59,60	42,508	83.	156,80	78,62	50,140	136.	174,12	96,69	55,5307
31.	146,87	54,90	37,380	84.	159,15	42,67	26,811	137.	139,43	81,48	58,4379
32.	157,95	57,52	36,417	85.	131,32	28,10	21,398	138.	142,81	103,67	72,593
33.	151,01	35,19	23,303	86.	131,14	34,73	26,483	139.	137,42	101,37	73,7666
34.	152,47	49,28	32,321	87.	133,91	59,19	44,201	140.	162,17	111,52	68,7673
35.	123,87	15,55	12,553	88.	158,38	30,18	19,055	141.	169,08	82,36	48,7107
36.	160,33	11,16	6,961	89.	147,24	19,56	13,284	142.	159,66	62,31	39,0267
37.	194,94	48,37	24,813	90.	153,96	22,46	14,588	143.	160,83	47,14	29,3105
38.	180,18	71,04	39,427	91.	158,96	26,78	16,847	144.	158,60	25,75	16,2358
39.	151,34	67,89	44,859	92.	167,79	42,54	25,353	145.	178,76	48,28	27,0083
40.	161,72	86,05	53,209	93.	166,14	62,92	37,872	146.	150,61	21,93	14,5608
41.	145,14	68,91	47,478	94.	181,38	86,79	47,850	147.	149,95	28,62	19,0864
42.	147,28	68,06	46,211	95.	169,76	99,35	58,524	148.	146,43	30,68	20,952
43.	166,36	69,46	41,753	96.	162,13	58,88	36,317	149.	142,91	28,71	20,0896
44.	181,42	67,65	37,289	97.	138,62	91,11	65,726	150.	155,35	12,38	7,9691
45.	164,16	38,85	23,666	98.	132,45	83,05	62,703	151.	176,70	51,67	29,2417
46.	167,54	32,15	19,189	99.	145,77	88,16	60,479	152.	165,62	78,75	47,5486
47.	184,50	61,16	33,149	100.	139,28	66,61	47,825	153.	138,97	79,59	57,2714
48.	163,63	33,12	20,241	101.	149,03	61,44	41,227	154.	146,24	85,42	58,4108
49.	135,02	48,88	36,202	102.	152,23	39,83	26,164	155.	140,72	69,21	49,1828
50.	131,26	61,38	46,762	103.	134,37	16,98	12,637	156.	162,13	83,03	51,212
51.	135,20	69,55	51,442	104.	151,05	34,57	22,886	157.	166,41	68,52	41,1754
52.	134,76	68,42	50,772	105.	164,78	48,39	29,366	158.	155,60	46,78	30,0643
53.	139,27	68,41	49,120	106.	161,58	37,15	22,992	159.	152,25	20,77	13,642
								160.	157,03	16,36	10,4184

Tab. č. 7: naměřená data v NIS Elements pro pH 8 útek.

pH8 út	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]
1.	147,95	19,87	13,430	54.	148,65	55,38	37,255	107.	119,05	22,93	19,261
2.	134,00	12,73	9,500	55.	176,82	59,59	33,701	108.	114,65	26,70	23,288
3.	144,18	23,29	16,153	56.	181,08	23,17	12,795	109.	138,55	24,05	17,358
4.	148,35	32,62	21,989	57.	156,93	24,59	15,669	110.	163,99	41,15	25,093
5.	140,11	36,59	26,115	58.	143,29	31,47	21,962	111.	175,22	48,43	27,640
6.	135,24	30,68	22,686	59.	115,42	22,59	19,572	112.	160,58	42,23	26,298
7.	132,71	22,58	17,015	60.	112,89	10,79	9,558	113.	118,08	41,39	35,053
8.	143,00	23,81	16,650	61.	143,36	35,58	24,819	114.	128,21	38,01	29,647
9.	144,81	14,65	10,117	62.	167,90	44,11	26,272	115.	140,50	32,35	23,025
10.	161,35	29,52	18,296	63.	166,47	36,64	22,010	116.	149,23	28,49	19,091
11.	144,55	29,21	20,208	64.	165,23	29,82	18,048	117.	151,21	36,17	23,920
12.	148,75	23,89	16,061	65.	109,80	18,74	17,067	118.	140,48	38,85	27,655
13.	141,67	21,49	15,169	66.	122,60	30,44	24,829	119.	127,87	36,97	28,912
14.	141,55	38,38	27,114	67.	144,50	44,37	30,706	120.	118,62	45,72	38,543
15.	131,97	15,93	12,071	68.	146,55	44,35	30,263	121.	117,20	72,76	62,082
16.	142,44	20,87	14,652	69.	147,73	51,86	35,105	122.	124,55	64,32	51,642
17.	117,71	33,79	28,706	70.	138,47	40,63	29,342	123.	143,58	50,53	35,193
18.	102,76	22,28	21,682	71.	125,71	24,03	19,115	124.	157,07	50,65	32,247
19.	102,00	22,10	21,667	72.	117,98	33,42	28,327	125.	154,26	51,87	33,625
20.	119,71	34,07	28,460	73.	113,72	31,82	27,981	126.	140,08	66,15	47,223
21.	133,35	25,07	18,800	74.	119,26	29,46	24,702	127.	126,02	48,06	38,137
22.	145,42	16,27	11,188	75.	129,71	22,49	17,339	128.	116,60	48,63	41,707
23.	143,87	18,26	12,692	76.	141,05	19,99	14,172	129.	136,81	25,27	18,471
24.	129,28	19,43	15,029	77.	140,75	23,97	17,030	130.	143,72	30,44	21,180
25.	114,44	23,25	20,316	78.	124,70	20,88	16,744	131.	131,26	30,19	23,000
26.	109,16	28,54	26,145	79.	114,31	22,51	19,692	132.	125,67	30,22	24,047
27.	108,93	33,40	30,662	80.	105,11	13,92	13,243	133.	132,04	40,97	31,028
28.	115,99	37,89	32,667	81.	128,53	22,22	17,288	134.	139,68	42,92	30,727
29.	78,48	1,82	2,319	82.	136,98	54,30	39,641	135.	146,04	45,30	31,019
30.	130,89	31,78	24,280	83.	130,33	53,61	41,134	136.	157,86	61,17	38,750
31.	149,26	49,59	33,224	84.	132,54	55,22	41,663	137.	140,73	51,42	36,538
32.	122,46	33,68	27,503	85.	135,09	62,75	46,451	138.	134,57	56,58	42,045
33.	159,91	34,86	21,800	86.	143,40	64,66	45,091	139.	126,02	36,05	28,607
34.	171,81	39,65	23,078	87.	143,90	45,91	31,904	140.	131,43	34,23	26,044
35.	152,51	26,19	17,173	88.	163,12	57,78	35,422	141.	137,27	47,50	34,603
36.	152,95	21,37	13,972	89.	145,09	47,49	32,731	142.	150,60	42,64	28,313
37.	149,47	17,89	11,969	90.	145,16	44,18	30,435	143.	153,44	34,51	22,491
38.	138,87	19,34	13,927	91.	142,96	33,90	23,713	144.	147,50	24,39	16,536
39.	138,96	16,65	11,982	92.	131,20	15,40	11,738	145.	156,06	44,90	28,771
40.	163,52	38,35	23,453	93.	128,99	10,06	7,799	146.	142,24	36,92	25,956
41.	149,44	26,58	17,786	94.	136,76	31,07	22,719	147.	133,45	49,93	37,415
42.	151,22	37,30	24,666	95.	137,11	23,11	16,855	148.	129,24	51,56	39,895
43.	142,96	44,68	31,253	96.	135,44	13,65	10,078	149.	120,71	43,14	35,739
44.	145,58	58,75	40,356	97.	154,74	52,80	34,122	150.	152,79	65,55	42,902
45.	142,06	54,91	38,653	98.	157,88	78,46	49,696	151.	171,66	67,19	39,141
46.	132,87	42,49	31,979	99.	146,02	62,85	43,042	152.	180,10	35,89	19,928
47.	143,89	41,29	28,696	100.	136,69	60,89	44,546	153.	152,14	10,90	7,164
48.	147,10	35,36	24,038	101.	131,74	47,58	36,117	154.	141,50	23,64	16,707
49.	160,07	52,83	33,004	102.	147,47	57,47	38,971	155.	128,82	19,42	15,075
50.	150,58	57,11	37,927	103.	179,30	77,26	43,090	156.	117,76	20,72	17,595
51.	140,57	52,90	37,632	104.	184,25	13,57	7,365	157.	141,62	27,46	19,390
52.	137,88	51,80	37,569	105.	172,00	12,04	7,000	158.	163,06	30,60	18,766
53.	133,42	47,61	35,684	106.	140,96	13,89	9,854	159.	172,28	34,84	20,223
								160.	142,07	23,99	16,886

Tab. č. 8: naměřená data v NIS Elements pro pH 9 útek.

pH9 út	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]
1.	135,94	20,50	15,080	54.	114,33	15,74	13,767	107.	130,38	55,17	42,315
2.	143,45	23,56	16,424	55.	122,32	29,04	23,741	108.	132,99	57,23	43,033
3.	170,08	48,08	28,269	56.	111,94	22,95	20,502	109.	119,40	42,71	35,771
4.	160,87	49,93	31,037	57.	125,35	31,53	25,154	110.	136,68	39,49	28,892
5.	142,06	54,91	38,653	58.	144,29	25,32	17,548	111.	133,14	17,57	13,197
6.	133,19	48,64	36,519	59.	174,66	37,32	21,367	112.	140,12	21,07	15,037
7.	101,07	26,95	26,665	60.	179,67	48,60	27,050	113.	131,58	21,35	16,226
8.	122,82	44,67	36,370	61.	149,50	39,58	26,475	114.	122,43	20,07	16,393
9.	130,27	44,88	34,452	62.	134,54	54,18	40,271	115.	124,79	27,73	22,221
10.	141,20	43,45	30,772	63.	124,90	54,95	43,995	116.	127,88	26,47	20,699
11.	168,54	58,23	34,550	64.	131,77	61,53	46,695	117.	130,30	34,43	26,424
12.	159,59	47,10	29,513	65.	120,04	37,84	31,523	118.	132,24	27,19	20,561
13.	137,27	30,51	22,226	66.	128,68	44,12	34,287	119.	133,41	34,20	25,635
14.	132,71	37,14	27,986	67.	146,72	59,06	40,254	120.	137,19	44,51	32,444
15.	118,94	20,03	16,840	68.	150,38	44,39	29,519	121.	146,83	64,50	43,928
16.	121,46	23,42	19,282	69.	135,73	20,89	15,391	122.	125,65	56,81	45,213
17.	142,22	39,84	28,013	70.	130,16	15,69	12,054	123.	122,63	44,99	36,688
18.	142,73	24,76	17,347	71.	119,96	16,71	13,930	124.	128,58	53,50	41,608
19.	167,02	55,83	33,427	72.	110,97	14,66	13,211	125.	122,02	38,79	31,790
20.	157,77	63,15	40,027	73.	125,91	24,14	19,172	126.	137,10	33,42	24,376
21.	137,69	58,73	42,654	74.	129,63	19,02	14,673	127.	137,42	10,55	7,677
22.	130,51	66,16	50,693	75.	136,10	19,84	14,578	128.	137,08	18,37	13,401
23.	97,81	34,14	34,904	76.	162,28	40,96	25,240	129.	127,87	26,78	20,943
24.	117,64	43,37	36,867	77.	154,00	41,11	26,695	130.	125,77	23,65	18,804
25.	132,44	59,37	44,828	78.	138,99	22,91	16,483	131.	125,49	26,82	21,372
26.	140,17	43,01	30,684	79.	125,04	29,99	23,984	132.	130,66	31,63	24,208
27.	167,94	53,98	32,142	80.	120,80	35,13	29,081	133.	137,69	35,89	26,066
28.	167,25	52,71	31,516	81.	127,08	30,55	24,040	134.	136,08	20,24	14,874
29.	142,92	37,90	26,518	82.	125,95	32,26	25,613	135.	137,03	29,10	21,236
30.	126,99	27,51	21,663	83.	124,84	24,63	19,729	136.	141,88	48,58	34,240
31.	124,57	29,10	23,360	84.	129,31	19,97	15,444	137.	148,09	77,65	52,434
32.	126,02	29,56	23,457	85.	136,21	34,82	25,563	138.	139,57	63,14	45,239
33.	120,24	37,64	31,304	86.	135,89	34,73	25,557	139.	130,11	51,67	39,713
34.	148,21	62,05	41,866	87.	134,34	41,06	30,564	140.	129,30	40,96	31,678
35.	164,13	65,06	39,639	88.	140,57	66,03	46,973	141.	129,86	37,20	28,646
36.	157,48	49,22	31,255	89.	141,13	72,10	51,088	142.	142,15	42,07	29,595
37.	156,83	54,89	35,000	90.	115,94	55,83	48,154	143.	129,18	33,23	25,724
38.	133,00	38,25	28,759	91.	123,54	62,64	50,704	144.	133,15	34,78	26,121
39.	123,48	31,79	25,745	92.	123,53	51,27	41,504	145.	142,95	30,06	21,028
40.	114,50	29,04	25,362	93.	120,33	39,09	32,486	146.	148,24	27,24	18,376
41.	126,00	33,46	26,556	94.	147,02	50,37	34,261	147.	172,58	54,97	31,852
42.	138,34	26,31	19,018	95.	130,46	28,94	22,183	148.	156,10	52,54	33,658
43.	180,03	51,42	28,562	96.	133,65	29,61	22,155	149.	143,64	58,63	40,817
44.	184,86	68,44	37,023	97.	130,77	16,13	12,335	150.	142,35	74,99	52,680
45.	163,63	77,90	47,607	98.	130,73	25,58	19,567	151.	97,95	33,19	33,885
46.	147,11	84,78	57,630	99.	126,97	24,07	18,957	152.	116,27	52,95	45,541
47.	106,47	55,82	52,428	100.	130,07	19,91	15,307	153.	123,89	61,59	49,713
48.	105,64	52,24	49,451	101.	135,96	24,42	17,961	154.	135,85	53,51	39,389
49.	137,81	64,52	46,818	102.	138,62	36,98	26,677	155.	170,52	75,15	44,071
50.	153,82	66,70	43,362	103.	133,14	40,70	30,569	156.	169,30	63,70	37,626
51.	164,30	62,71	38,168	104.	136,17	60,56	44,474	157.	139,25	39,57	28,417
52.	155,03	32,25	20,802	105.	142,11	74,11	52,150	158.	130,11	30,22	23,227
53.	156,09	34,44	22,064	106.	115,75	41,92	36,216	159.	122,83	32,65	26,581
								160.	129,31	30,63	23,687

Tab. č. 9: naměřená data v NIS Elements pro pH 10 útek.

pH10 út	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob.
1.	142,08	47,36	33,333	54.	155,29	45,16	29,081	107.	146,15	64,30	43,996
2.	146,59	56,37	38,454	55.	184,02	60,47	32,861	108.	159,94	58,52	36,589
3.	139,00	64,46	46,374	56.	178,02	47,20	26,514	109.	177,35	63,03	35,540
4.	126,15	57,51	45,589	57.	157,63	55,60	35,272	110.	168,90	58,12	34,411
5.	113,06	48,89	43,243	58.	141,03	58,32	41,353	111.	145,63	46,66	32,040
6.	110,74	53,90	48,673	59.	151,19	64,36	42,569	112.	134,76	39,75	29,497
7.	109,83	56,17	51,143	60.	158,25	76,45	48,310	113.	159,47	61,00	38,252
8.	113,68	52,02	45,760	61.	168,59	85,51	50,721	114.	139,37	84,73	60,795
9.	129,35	48,89	37,797	62.	169,64	89,28	52,629	115.	119,85	69,94	58,356
10.	150,46	62,60	41,606	63.	165,87	86,83	52,348	116.	106,90	54,07	50,580
11.	144,77	70,22	48,505	64.	170,07	88,26	51,896	117.	117,22	65,37	55,767
12.	119,91	40,19	33,517	65.	151,26	77,16	51,012	118.	127,71	60,61	47,459
13.	113,56	39,21	34,528	66.	134,86	63,47	47,064	119.	144,20	59,16	41,026
14.	120,11	41,99	34,960	67.	115,57	46,54	40,270	120.	148,01	40,54	27,390
15.	123,51	38,90	31,495	68.	119,85	52,88	44,122	121.	172,97	48,37	27,964
16.	128,42	37,73	29,380	69.	118,10	39,23	33,218	122.	157,46	71,86	45,637
17.	153,79	98,35	63,951	70.	111,19	29,54	26,567	123.	134,34	65,32	48,623
18.	131,34	80,37	61,192	71.	127,28	39,77	31,246	124.	125,60	62,72	49,936
19.	128,00	78,44	61,281	72.	152,60	57,88	37,929	125.	89,77	37,91	42,230
20.	116,79	62,10	53,172	73.	152,13	67,13	44,127	126.	109,98	43,14	39,225
21.	153,82	84,24	54,765	74.	137,28	73,50	53,540	127.	129,41	38,51	29,758
22.	163,80	54,50	33,272	75.	127,90	66,88	52,291	128.	145,66	30,84	21,173
23.	179,42	44,06	24,557	76.	118,07	56,73	48,048	129.	141,68	75,15	53,042
24.	171,46	38,40	22,396	77.	117,22	56,22	47,961	130.	131,97	56,11	42,517
25.	148,04	41,33	27,918	78.	118,17	54,48	46,103	131.	162,68	69,17	42,519
26.	144,46	44,10	30,527	79.	126,66	61,95	48,910	132.	163,45	86,00	52,615
27.	141,32	26,63	18,844	80.	124,03	47,85	38,579	133.	151,76	81,37	53,618
28.	162,55	39,36	24,214	81.	129,16	66,53	51,510	134.	159,37	93,41	58,612
29.	165,86	24,59	14,826	82.	134,02	68,34	50,992	135.	162,17	91,30	56,299
30.	152,05	69,95	46,005	83.	155,49	87,43	56,229	136.	151,18	72,67	48,069
31.	156,11	89,15	57,107	84.	189,64	108,28	57,098	137.	157,33	82,98	52,743
32.	152,51	92,11	60,396	85.	185,42	74,32	40,082	138.	153,54	70,64	46,008
33.	155,36	40,31	25,946	86.	171,88	51,58	30,009	139.	158,80	72,49	45,649
34.	143,86	41,22	28,653	87.	156,59	43,72	27,920	140.	169,98	68,14	40,087
35.	132,06	25,53	19,332	88.	151,48	39,68	26,195	141.	178,37	64,93	36,402
36.	135,75	35,46	26,122	89.	148,73	39,15	26,323	142.	172,38	64,82	37,603
37.	135,51	29,86	22,035	90.	140,70	44,19	31,407	143.	147,19	60,88	41,362
38.	165,94	58,49	35,248	91.	142,76	43,72	30,625	144.	139,25	59,92	43,031
39.	165,36	70,29	42,507	92.	182,35	82,52	45,254	145.	142,03	94,01	66,190
40.	174,20	84,32	48,404	93.	190,88	107,18	56,150	146.	147,45	99,85	67,718
41.	147,51	69,58	47,170	94.	176,39	104,78	59,402	147.	171,22	117,17	68,432
42.	132,40	83,83	63,316	95.	144,43	80,25	55,563	148.	181,99	117,06	64,322
43.	118,01	76,94	65,198	96.	141,43	77,18	54,571	149.	188,71	77,10	40,856
44.	129,12	84,52	65,458	97.	142,95	43,99	30,773	150.	170,44	39,97	23,451
45.	152,27	92,61	60,820	98.	140,34	49,28	35,115	151.	164,52	41,63	25,304
46.	165,29	74,06	44,806	99.	153,93	57,53	37,374	152.	157,38	43,96	27,932
47.	172,38	58,45	33,908	100.	165,35	64,38	38,936	153.	152,85	41,93	27,432
48.	160,96	42,86	26,628	101.	162,69	74,75	45,946	154.	144,06	33,41	23,192
49.	169,23	83,09	49,099	102.	146,30	63,03	43,083	155.	158,78	51,17	32,227
50.	172,24	79,66	46,249	103.	143,04	63,26	44,225	156.	188,28	92,82	49,299
51.	150,32	54,87	36,502	104.	149,60	71,05	47,493	157.	199,52	131,89	66,104
52.	146,70	53,10	36,196	105.	152,47	72,58	47,603	158.	165,55	104,00	62,821
53.	142,93	42,16	29,497	106.	145,25	58,26	40,110	159.	168,83	110,97	65,729
								160.	157,38	99,60	63,286

Tab. č. 10: naměřená data v NIS Elements pro pH 11,8 útek.

pH11,8 út	poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob. [%]		poloměr r [μm]	hloubka l [μm]	prob.
1.	148,21	79,34	53,532	54.	161,87	66,36	40,996	107.	136,87	52,64	38,460
2.	148,87	63,54	42,682	55.	146,44	54,86	37,462	108.	137,77	74,72	54,235
3.	148,24	49,93	33,682	56.	148,28	61,05	41,172	109.	125,28	67,91	54,207
4.	145,59	49,69	34,130	57.	147,24	62,32	42,325	110.	127,18	75,26	59,176
5.	149,47	45,32	30,320	58.	151,57	76,70	50,604	111.	135,07	91,17	67,498
6.	137,41	57,46	41,816	59.	158,10	72,15	45,636	112.	138,58	98,25	70,898
7.	149,78	64,41	43,003	60.	153,60	66,02	42,982	113.	144,63	102,87	71,126
8.	146,36	53,02	36,226	61.	140,49	64,14	45,654	114.	136,48	89,94	65,900
9.	136,44	54,06	39,622	62.	130,34	37,68	28,909	115.	135,40	84,26	62,230
10.	138,82	66,62	47,990	63.	148,60	76,47	51,460	116.	146,12	77,17	52,813
11.	149,78	73,66	49,179	64.	151,23	80,22	53,045	117.	138,52	62,64	45,221
12.	144,38	71,54	49,550	65.	141,69	30,16	21,286	118.	137,69	54,30	39,436
13.	134,22	78,44	58,441	66.	122,07	15,94	13,058	119.	148,72	60,86	40,923
14.	122,84	70,90	57,717	67.	130,51	27,50	21,071	120.	160,69	61,39	38,204
15.	117,43	67,51	57,490	68.	122,59	26,45	21,576	121.	150,23	58,06	38,647
16.	136,40	76,42	56,026	69.	139,16	42,52	30,555	122.	142,71	60,52	42,408
17.	147,85	84,92	57,437	70.	149,39	38,19	25,564	123.	128,92	77,06	59,774
18.	151,70	77,97	51,397	71.	142,58	32,11	22,521	124.	134,68	98,44	73,092
19.	163,28	82,51	50,533	72.	150,99	39,80	26,359	125.	129,86	100,83	77,645
20.	153,28	44,84	29,254	73.	144,23	45,05	31,235	126.	133,07	101,77	76,479
21.	142,32	29,94	21,037	74.	148,76	75,76	50,928	127.	132,88	97,24	73,179
22.	146,79	56,39	38,415	75.	123,06	63,98	51,991	128.	148,00	106,86	72,203
23.	141,68	54,00	38,114	76.	117,41	62,21	52,985	129.	142,22	78,29	55,049
24.	152,50	68,30	44,787	77.	114,46	49,42	43,177	130.	127,10	71,97	56,625
25.	151,52	66,60	43,955	78.	136,70	66,19	48,420	131.	106,35	69,67	65,510
26.	155,32	82,48	53,103	79.	146,70	62,18	42,386	132.	99,31	63,80	64,243
27.	159,39	84,66	53,115	80.	158,74	44,13	27,800	133.	94,30	51,88	55,016
28.	149,51	90,74	60,692	81.	143,02	41,33	28,898	134.	120,17	61,62	51,277
29.	145,99	109,34	74,896	82.	137,75	32,92	23,898	135.	154,79	68,06	43,969
30.	152,24	111,17	73,023	83.	132,66	40,38	30,439	136.	145,21	38,04	26,197
31.	142,99	92,01	64,347	84.	127,96	43,13	33,706	137.	156,25	33,93	21,715
32.	137,18	81,35	59,302	85.	143,56	46,22	32,196	138.	128,55	15,51	12,065
33.	160,07	89,20	55,726	86.	154,52	55,84	36,138	139.	129,41	26,07	20,145
34.	159,74	82,39	51,578	87.	148,81	36,53	24,548	140.	140,87	44,17	31,355
35.	159,39	62,20	39,024	88.	147,24	48,48	32,926	141.	136,71	27,42	20,057
36.	156,33	50,93	32,579	89.	146,83	58,20	39,638	142.	142,08	28,54	20,087
37.	153,31	51,92	33,866	90.	149,96	77,19	51,474	143.	158,71	42,22	26,602
38.	168,45	76,45	45,384	91.	128,83	56,91	44,174	144.	151,56	65,67	43,329
39.	158,10	71,27	45,079	92.	109,97	48,48	44,085	145.	140,04	92,69	66,188
40.	149,87	67,39	44,966	93.	110,39	49,49	44,832	146.	132,02	75,76	57,385
41.	144,19	70,87	49,150	94.	133,61	70,90	53,065	147.	132,17	69,51	52,591
42.	149,07	84,41	56,624	95.	143,43	73,06	50,938	148.	140,29	54,85	39,098
43.	152,05	81,21	53,410	96.	165,94	67,26	40,533	149.	132,41	45,32	34,227
44.	149,99	83,50	55,670	97.	135,09	92,60	68,547	150.	134,10	37,92	28,277
45.	141,10	88,57	62,771	98.	128,61	82,68	64,287	151.	143,68	41,05	28,570
46.	133,40	88,71	66,499	99.	126,85	72,69	57,304	152.	144,98	42,19	29,101
47.	144,71	92,44	63,879	100.	140,54	76,68	54,561	153.	151,25	57,04	37,712
48.	153,39	90,89	59,254	101.	131,09	53,02	40,445	154.	145,45	69,03	47,460
49.	149,07	81,37	54,585	102.	127,58	37,83	29,652	155.	132,88	73,83	55,561
50.	155,55	77,26	49,669	103.	141,49	34,16	24,143	156.	136,65	86,53	63,322
51.	161,12	60,91	37,804	104.	142,22	33,38	23,471	157.	133,42	81,99	61,453
52.	150,88	46,21	30,627	105.	142,35	38,86	27,299	158.	135,89	85,12	62,639
53.	150,26	39,09	26,015	106.	151,12	51,26	33,920	159.	137,21	94,71	69,026
								160.	139,03	100,05	71,963